



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**POSOUZENÍ NÁVRATNOSTI INVESTICE DO PASIVNÍHO
A STANDARDNÍHO RODINNÉHO DOMU**

ASSESSING THE RETURN ON INVESTMENT IN A PASSIVE AND STANDARD HOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Krus

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslava Hlavinková, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav soudního inženýrství
Student: **Bc. Tomáš Krus**
Studijní program: Soudní inženýrství
Studijní obor: Realitní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Vítězslava Hlavinková, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Posouzení návratnosti investice do pasivního a standardního rodinného domu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Porovnání kladů a záporů výstavby pasivního domu ve srovnání s běžnou zástavbou z pohledu investora. Primárním ukazatelem budou ekonomické hodnoty vycházející ze studie, návratnost investice za podmínek různě se vyvíjejícího finančního trhu i s ohledem na variabilní ceny energií.

Posouzení, zda případná úspora provozních nákladů u pasivního domu oproti běžné výstavbě pokryje stavební vícenáklady, související s dosažením pasivního standardu. Porovnání jednotlivých prvků konstrukcí, které jsou pro oba typy výstavby odlišné a to především jejich konstrukční, funkční a provozně-ekonomické dopady.

Porovnání úspor provozních nákladů dosažitelných snížením energetické náročnosti a volbou vhodných systémů např. vytápění, větrání apod., které mohou motivovat k pokrytí vícenákladů spojených s dosažením pasivního standardu. Modelová studie bude provedena na základě dostupné dokumentace a provozních výdajů.

Vytvoření rozhodovacího schématu pro zhodnocení volby investice do stavby pasivního bydlení či běžné výstavby.

Cíle diplomové práce:

Porovnání nákladů na výstavbu pasivního domu ve srovnání s běžnou zástavbou z pohledu investora. Primárním ukazatelem budou ekonomické hodnoty vycházející ze studie, návratnost investice, za podmínek různě se vyvíjejícího finančního trhu a prognóz vývoje cen energií.

Seznam doporučené literatury:

BRADÁČ, A.; a kol. Teorie a praxe oceňování nemovitých věcí, první vydání. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2016, 790 p. ISBN 978-80-7204-930- 1.

Zákon č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku.

Vyhláška Ministerstva financí ČR č. 441/2013 Sb., v aktuálním znění k datu odevzdání diplomové práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.
ředitel

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je posouzení ekonomické investice do pasivní výstavby v porovnání s běžnou výstavbou. V práci je uvedena problematika pasivní výstavby, její charakteristické vlastnosti, rozdělení použitých konstrukčních materiálů včetně posouzení výhod a nevýhod při jejich realizaci a užití.

Způsob hodnocení je založen na možnostech ekonomického návratu investičních nákladů realizace výstavby objektů. Hlavní část práce se zaměřuje na srovnání investičních a provozních nákladů při výstavbě standardního a pasivního rodinného domu. Výstupem diplomové práce je výpočet jednotlivých návratností zvýšených o počáteční investice při výstavbě standardního a pasivního rodinného domu.

Abstract

The aim of this thesis is to compare economic investment in passive houses and conventional construction of a house. Furthermore, this thesis is focused on introducing problematics connected to construction of passive house, main characteristics, differences in used materials including review of advantages and disadvantages of their implementation.

Assessment is based on return ability of initial investments generated by lowering operational costs. Main part of this thesis is aimed on comparison of costs both before and in use of a house.

Klíčová slova

Pasivní dům, vícenáklady, návratnost investice, provozní náklady, investiční náklady, prostup tepla, rekuperace tepla

Keywords

Passive house, additional cost, return on investment, operating costs, capital expenditure, heat and cooling demand, heat recovery

Bibliografická citace

KRUS, T. Posouzení návratnosti investice do pasivního a standardního rodinného domu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2017. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vítězslava Hlavinková, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. května 2017

.....

Podpis diplomanta

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Vítězslavě Hlavinkové, Ph.D. za její odborné vedení, cenné připomínky a velkou vstřícnost.

OBSAH

OBSAH.....	5
1 ÚVOD.....	9
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA.....	10
2.1 Cenové údaje	10
2.2 Energetická náročnost	10
2.2.1 Klasifikace objektů podle tepelných úniků.....	13
2.2.2 Energetická bilance.....	14
2.3 Koncept pasivního domu.....	16
2.4 Pasivní dům.....	17
2.4.1 Koncepční příprava.....	18
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	20
3.1 Porovnání konstrukčních provedení.....	20
3.1.1 Stěny.....	22
3.1.2 Podlaha.....	26
3.1.3 Střecha.....	27
3.1.4 Výplně stavebních otvorů	28
3.1.5 Větrání.....	33
3.1.6 Příprava teplé vody.....	39
3.2 Tepelné mosty	41
4 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ.....	43
4.1 Ekonomické porovnání vytápění.....	43
4.1.2 Investiční a provozní náklady vytápění	45
4.2 Shrnutí nákladů.....	47
4.3 Porovnání otopných systémů.....	48
4.3.1 Pasivní dům.....	48
4.3.2 Běžná výstavba	52
4.3.3 Srovnání u pasivní a standardní výstavby.....	56
4.4 Návratnost investic	61
5 NÁKLADNOST PASIVNÍCH DOMŮ.....	62
6 MODELOVÝ PŘÍKLAD	63
7 ROZHODOVACÍ SCHÉMA	65
8 MODEL	66
8.1 Financování	66

8.2	Provozní náklady	67
8.3	Srovnání.....	68
9	ZÁVĚR	73
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	77

1 ÚVOD

Vliv na volbu tématu diplomové práce autora má rostoucí cena energií, a s tím rostoucí provozní náklady spojené s užíváním rodinného domu. Další důležitý faktor, který ovlivnil volbu tématu, představovala možnost ovlivnění životního prostředí a jeho ochrany, a to díky možné úspoře energií redukcí závislosti na vnějších energetických zdrojích. V dnešní době je poměrně běžným požadavkem přechod od standardního domu na nízkoenergetický, který může být až o 40 % ekonomičtější z pohledu provozních nákladů. Modernizací tohoto typu lze snížit úniky energií o více než 60 %. Problematická je však realizace následných opatření ke zvýšení dosažených úspor. Nejen z tohoto důvodu se práce věnuje výhradně problematice novostaveb.

Velkou změnu do možnosti samotné volby nové výstavby vnáší i Evropská komise, která již vydala směrnice o možnostech výstavby domů jen s energetickou spotřebou blízkou nule, a to od roku 2021. Tento smělý plán by tak do budoucna jinou možnost volby zcela vyloučil. V současné době svobodné volby, ještě před samotným nabytím právní moci této směrnice, je tak nasnadě zaměřit pozornost na samotnou ekonomickou efektivnost tohoto rozhodnutí.

Hlavní otázka tedy zní, zda má vynaložená investice do konstrukčních prvků a technologických systémů reálné ekonomické opodstatnění a jestli samotná úspora energií během životnosti stavby alespoň zaplatí investici vloženou do samotné realizace. Diplomová práce se proto zabývá ekonomickou návratností vložených nákladů, resp. návratností vícenákladů do pasivní stavby. Pro účely samotného posouzení návratnosti jsou vyčísleny zejména pořizovací a provozní náklady s ohledem na předpokládanou životnost staveb, která je v tomto případě vyjádřena dobou splatnosti hypoték a s ohledem na vliv variabilního pohybu cen energií.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

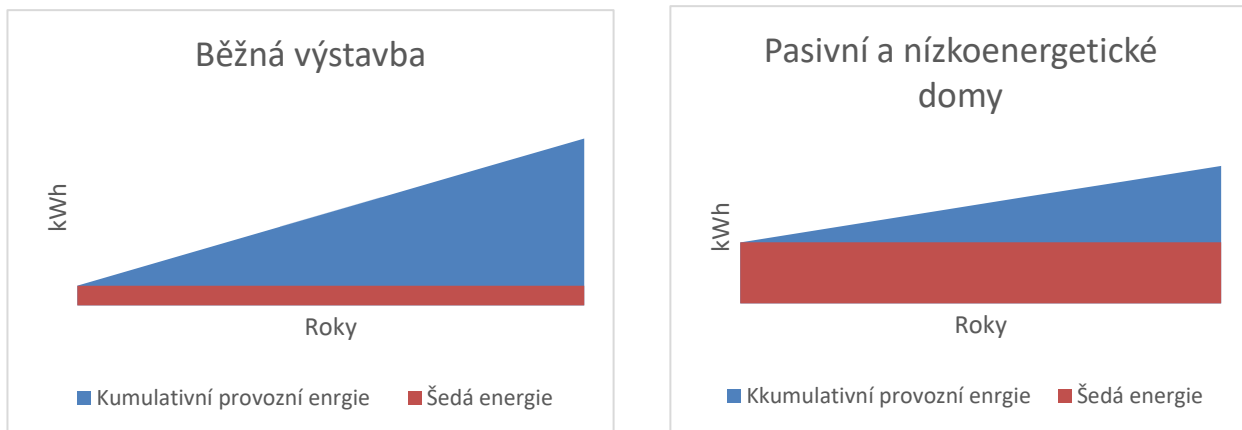
Tématika úsporného bydlení je pro autora zajímavá především z ekonomického hlediska. S problematikou dosažení pasivního standardu úzce souvisí energetická náročnost stavby a schopnost tepelné stability domu. Především na popsání této problematiky je zaměřena první část práce. Na základě těchto poznatků lze dále zkoumat případné úspory z provozování pasivního domu.

2.1 CENOVÉ ÚDAJE

Na ceny ve stavebnictví působí mnoho různých faktorů, ať se jedná o lokalitu, období provádění stavebních činností, velikost zakázek, realizační společnost atd. Z těchto důvodů je vyčíslení konkrétní částky značně komplikované a do okamžiku samotné realizace a dokončení zakázky lze vynaloženou sumu pouze přibližně odhadnout. Lze využít případů již dříve realizovaných staveb, výpis materiálů a položkový rozpočet. Přesnost projektové dokumentace však i přes pečlivé zpracování a stanovení nákladů mohou navýšit nepředpokládané práce, které výslednou cenu zvýší. V práci jsou proto také uváděny ceny pouze orientačního charakteru, které při skutečné realizaci mohou do značné míry lišit. V případě realizace některého z projektů je proto nutné počítat s jistou finanční rezervou. Pro účely porovnání investičního záměru jsou však údaje dostačující a vycházejí z publikací zabývajících se touto problematikou. Ceny jsou uváděny bez daně a poskytují do určité míry možnost procentuálního porovnání se zamýšlenou stavbou. (1)

2.2 ENERGETICKÁ NÁROČNOST

Provoz každé budovy je vždy spojen se spotřebou energie. Je tedy pochopitelná snaha o hospodárné využití a minimalizaci nároků na energie s přihlédnutím k vynaloženým nákladům na samotnou výstavbu. V práci se nebude autor zabývat tzv. šedou energií. Jedná se o energii potřebné k samotné výstavbě domu, na výrobu použitého materiálu apod. Prakticky jsou tyto energie pouze odhadované a v samotném důsledku pro finančně-investiční hledisko zanedbatelné, jelikož jsou promítnuty do nákladů pořízení. Obecně lze však základě studií konstatovat, že samotná výstavba pasivních i nízkoenergetických domů je v této fázi realizace energeticky nákladnější.

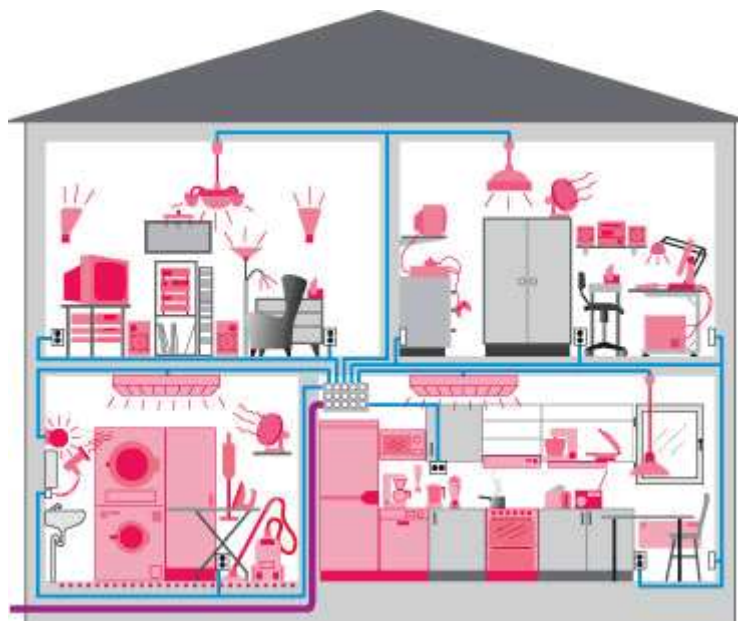


Graf 1: Porovnání šedé a kumulativní provozní energie (8)

Opačně je tomu při porovnávání energetických potřeb objektu plynoucích ze samotného provozu objektu. Nejen že jsou tyto údaje důležité pro vyčíslení a porovnání výdajů spojených s provozem nemovitosti, ale jsou také dle zvoleného způsobu výpočtu adekvátně přesné. Předem je nutné objasnit, které hlavní faktory energetickou náročnost a spotřebu ovlivňují. Jedná se zejména o:

- energie na vytápění,
- energie na chlazení a klimatizaci,
- energie na ohřev vody,
- energie na osvětlení,
- energie spojené s provozem domácích spotřebičů,
- energie k zajištění vzduchové cirkulace.

Spotřeba energií na výše uvedené položky je značně ovlivněna návyky samotných obyvatel domu, které jsou však z investičního hlediska zanedbatelné.



Obrázek 1: Energetická spotřeba domácnosti (2)

Pro snadnější porovnání energetické náročnosti budov, stanovení porovnávacích ukazatelů a výpočtové metody byl zaveden průkaz energetické náročnosti budov (ENB), upravený vyhláškou č. 78/2013 Sb.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY		DOPORUČENÁ OPATŘENÍ		PODÍL ENERGONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII																																											
<p>Ulice, číslo: _____</p> <p>PSČ, místo: _____</p> <p>Typ budovy: _____</p> <p>Plocha obálky budovy: _____ m²</p> <p>Objemový faktor tvaru A/V: _____ m²/m³</p> <p>Celková energeticky vztáhná plocha: _____ m²</p> <p style="text-align: center;">FOTO</p>		<p>DOPORUČENÁ OPATŘENÍ</p> <table border="1"> <tr> <th>Opatření pro</th> <th>Stanovena</th> </tr> <tr> <td>Vnější stěny:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Okna a dveře:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Střechu:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Podlahu:</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Vytápění:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Chlazení/klimatizaci:</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Větrání:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Přípravu teplé vody:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Osvětlení:</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Jiné:</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> <p><small>Pokud opatření je v průběhu průkazu a vyhodnocení ještě dopadu na energetickou náročnost je z náležitého signálu</small></p>		Opatření pro	Stanovena	Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>	Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>	Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>	Podlahu:	<input type="checkbox"/>	Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>	Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>	Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>	Přípravu teplé vody:	<input checked="" type="checkbox"/>	Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>	Jiné:	<input type="checkbox"/>	<p>PODÍL ENERGONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII</p> <p>Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> Elektrina ze sítě - XX,X <input type="checkbox"/> Biomas a en. prostředků - XX,X <input type="checkbox"/> Zemní plyn - XX,X </p>																					
Opatření pro	Stanovena																																														
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Podlahu:	<input type="checkbox"/>																																														
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>																																														
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Přípravu teplé vody:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>																																														
Jiné:	<input type="checkbox"/>																																														
<p>ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY</p> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)</th> <th colspan="2">Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)</th> <th colspan="2">Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)</th> </tr> <tr> <td> <p>Mimořádně úsporná A → XXX</p> <p>Velmi úsporná B → XXX</p> <p>Úsporná C → XXX</p> <p>Běžně úsporná D → XXX</p> <p>Nehospodárná E → XXX</p> <p>Velmi nehospodárná F → XXX</p> <p>Mimořádně nehospodárná G → XXX</p> </td> <td> <p>Dop. A</p> <p>XXX B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>F</p> <p>G</p> </td> <td> <p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> </td> <td> <p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</td> <td colspan="2">Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</td> </tr> <tr> <td colspan="2">XX,X</td> <td colspan="2">XX,X</td> </tr> </table>						Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)		Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		<p>Mimořádně úsporná A → XXX</p> <p>Velmi úsporná B → XXX</p> <p>Úsporná C → XXX</p> <p>Běžně úsporná D → XXX</p> <p>Nehospodárná E → XXX</p> <p>Velmi nehospodárná F → XXX</p> <p>Mimořádně nehospodárná G → XXX</p>	<p>Dop. A</p> <p>XXX B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>F</p> <p>G</p>	<p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p>	<p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p>	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X		XX,X																							
Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)		Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)																																													
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)																																													
<p>Mimořádně úsporná A → XXX</p> <p>Velmi úsporná B → XXX</p> <p>Úsporná C → XXX</p> <p>Běžně úsporná D → XXX</p> <p>Nehospodárná E → XXX</p> <p>Velmi nehospodárná F → XXX</p> <p>Mimořádně nehospodárná G → XXX</p>	<p>Dop. A</p> <p>XXX B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>F</p> <p>G</p>	<p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p>	<p>Dop.</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p> <p>XXX</p>																																												
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		Hodnoty pro celou budovu MWh/rok																																													
XX,X		XX,X																																													
<p>UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY</p> <table border="1"> <tr> <th>Obálka budovy</th> <th>Vytápění</th> <th>Chlazení</th> <th>Větrání</th> <th>Úprava vnitřní</th> <th>Teplá voda</th> <th>Osvětlení</th> </tr> <tr> <th>U_{ext} W/(m²·K)</th> <th colspan="6">Dílčí dodané energie</th> </tr> <tr> <th>Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)</th> <th colspan="6">Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)</th> </tr> <tr> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → XX,XX</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → XX</p> <p>F → XX</p> <p>G → XX</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> <td> <p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="7">Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</td> </tr> <tr> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> <td>XX,X</td> </tr> </table>						Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vnitřní	Teplá voda	Osvětlení	U _{ext} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie						Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)						<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → XX,XX</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → XX</p> <p>F → XX</p> <p>G → XX</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	Hodnoty pro celou budovu MWh/rok							XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X
Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vnitřní	Teplá voda	Osvětlení																																									
U _{ext} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie																																														
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)																																														
<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → XX,XX</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → XX</p> <p>F → XX</p> <p>G → XX</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>	<p>A → Dop.</p> <p>B → Dop.</p> <p>C → Dop.</p> <p>D → Dop.</p> <p>E → Dop.</p> <p>F → Dop.</p> <p>G → Dop.</p>																																									
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok																																															
XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X																																									
<p>Zpracovatel: _____</p> <p>Kontakt: _____</p>						<p>Osvědčení č.: _____</p> <p>Vyhotoveno dne: _____</p> <p>Podpis: _____</p>																																									

Obrázek 2: ENB (3)

Energetická náročnost budov se hodnotí jako součet veškerých energetických systémů v domě (vytápění, osvětlení...). K přesnému stanovení energetické náročnosti budov je využíváno tzv. bilanční hodnocení, které časově vymezuje dobu zkoumání energetické náročnosti budovy (např. za měsíc). Pro daný časový úsek je zvolen referenční den, který dané časové období charakterizuje. Přepočtením spotřeby během referenčních dnů na celé zvolené časové období je usnadněn výpočet energetické náročnosti a dochází k regulaci extrémů v nepravidelné spotřebě energie. Tímto způsobem lze stanovit spotřeby energie pro celé roční období. Na základě cen energií je pak možné zjistit adekvátní finanční zatížení budovy z hlediska její energetické náročnosti.

Vypočtená hodnota roční energetické spotřeby tepla na vytápění, kterou ENB průkaz uvádí, se však od skutečné dosažené energetické náročnosti budovy může lišit. Důvodem bývají vstupní údaje, které jsou k měření užívány. Konkrétně tedy samotné užití budovy a parametry technických zařízení. Díky obecným vstupním hodnotám lze porovnávat jednotlivé budovy navzájem, neuvažuje se například rozdílná požadovaná vnitřní teplota budov. (4)

2.2.1 Klasifikace objektů podle tepelných úniků

Energetická náročnost objektu se u budov do značné míry zobecňuje zaříděním mezi sedm kategorií hospodárnosti objektu a to od budov velmi úsporných (třída A) až po mimořádně nevhodné (G), viz Obrázek 2: ENB obrázek 2.

Jiným způsobem se budovy kategorizují s ohledem na tepelnou prostupnost obálky domu. Pro samotné zařídění je nejprve nutné zjistit průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} , podle vzorce:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

H_T představuje měrnou ztrátu tepla všech vnějších konstrukcí budovy [W/m]

A je celková plocha vnější konstrukce budovy [m^2]

Celková měrná ztráta způsobená prostupem tepla vně budovu je součtem ztrát jednotlivých vnějších konstrukcí budovy. Výpočet samotné měrné ztráty tepla závisí na řadě faktorů, např. tepelných mostech v konstrukci, činiteli teplotní redukce atd.

Pro doložení průměrného součinitele prostupu tepla je ustanoven energetický štítek samotné obálky budovy, upravený dle ČSN 73 0540-2 (2011).

Tabulka 1: Rozdělení tříd budov (5)

Klasifikační třídy	Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy U_{em} [W/(m ² .K)]	Slovní vyjádření klasifikační třídy
A	$U_{em} \leq 0,5 \cdot U_{em,N}$	Mimořádně úsporná
B	$0,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 0,75 \cdot U_{em,N}$	Velmi úsporná
C	$0,75 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 1,0 \cdot U_{em,N}$	Úsporná
D	$U_{em,N} < U_{em} \leq 1,5 \cdot U_{em,N}$	Méně úsporná
E	$1,5 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,0 \cdot U_{em,N}$	Nehospodárná
F	$2,0 \cdot U_{em,N} < U_{em} \leq 2,5 \cdot U_{em,N}$	Velmi nehospodárná
G	$U_{em} > 2,5 \cdot U_{em,N}$	Mimořádně nehospodárná

2.2.2 Energetická bilance

Nejen pro vytvoření představy o energetických potřebách domu je často sestavována tzv. energetická bilance. Vytvoření této bilance poskytuje majitelům a uživatelům domů přehled o energetických tocích v domě. Poskytuje také možnost identifikace a následného odstranění problémových, energeticky nákladných zařízení v domácnosti.

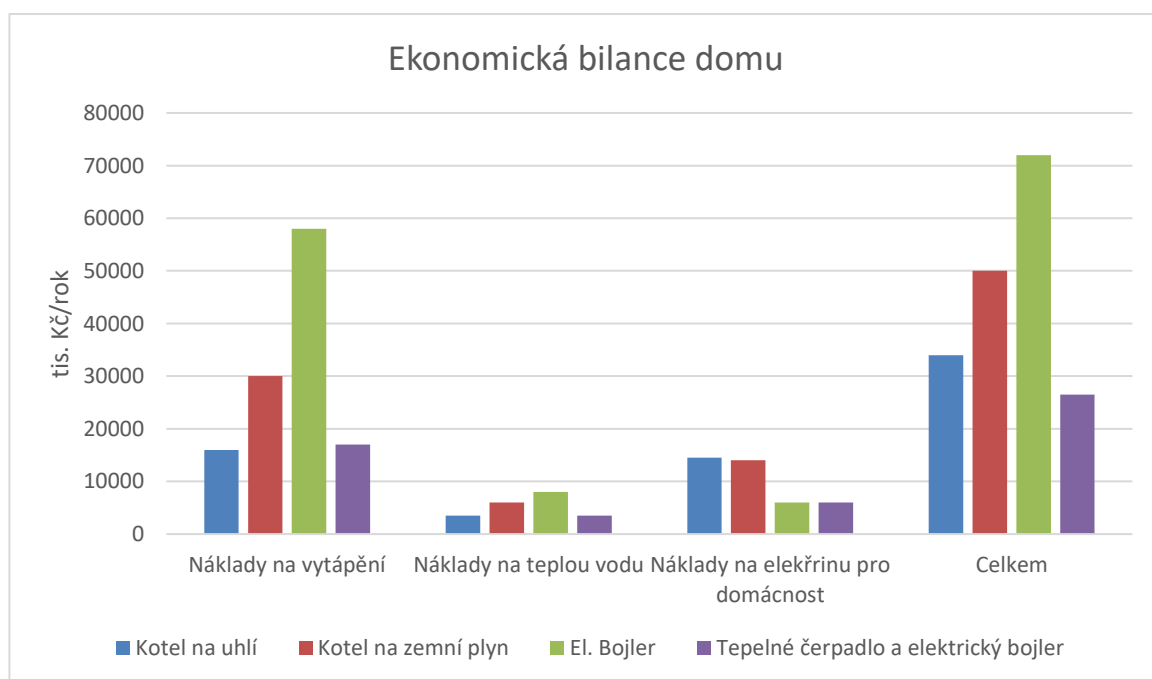
Pro správné sestavení energetické bilance je nejprve nutné zjistit všechny energetické zisky a ztráty. Především nejmarkantnější energetické ztráty u běžné výstavby jsou spojené s vytápěním užitných prostor a s jejich následným větráním. Potřeba dodatečného vytápění je dána především stavební konstrukcí. Na rozdíl od běžné výstavby je u pasivních domů kromě běžných zdrojů tepla předpokládáno také využití tepelné (energetické) rekuperace odváděného tepla z budovy větráním, využití solárních panelů, tepelných generátorů apod.

Například v publikaci Karla Srdečného (6) můžeme vidět příklady porovnání energetických bilancí pasivních domů (11 kWh/m² za rok) s běžnou výstavbou (200 kWh/m² za rok).

Tabulka 2: Spotřeba tepla na vytápění (6, s. 6))

Bilance vytápění [kWh]	Běžná výstavba	Pasivní dům
Potřeba tepla k vytápění (ztráty prostupem)	20 000	7 000
Potřeba tepla na větrání (ztráty větráním)	10 000	10 000
Pasivní solární zisky (okna a prosklení)	1 000	5 000
Tepelné zisky z osob	1 000	1 000
Tepelné zisky ze spotřebičů	2 000	2 000
Zisky z rekuperace tepla při větrání	0	7 000
Spotřeba tepla v palivu	30 500	1 700

Z ekonomického pohledu lze náklady na vytápění označit za nejpálčivější a snížení tepelných ztrát z vytápění za žádoucí. Graf 2 z téže publikace uvádí srovnání nákladů na energie v totožném domě pro různé způsoby vytápění. Graf slouží pouze pro orientaci, jelikož ceny za energie se liší dle regionu i poskytovatele.



Graf 2: Ekonomická bilance domu (6, s. 8))

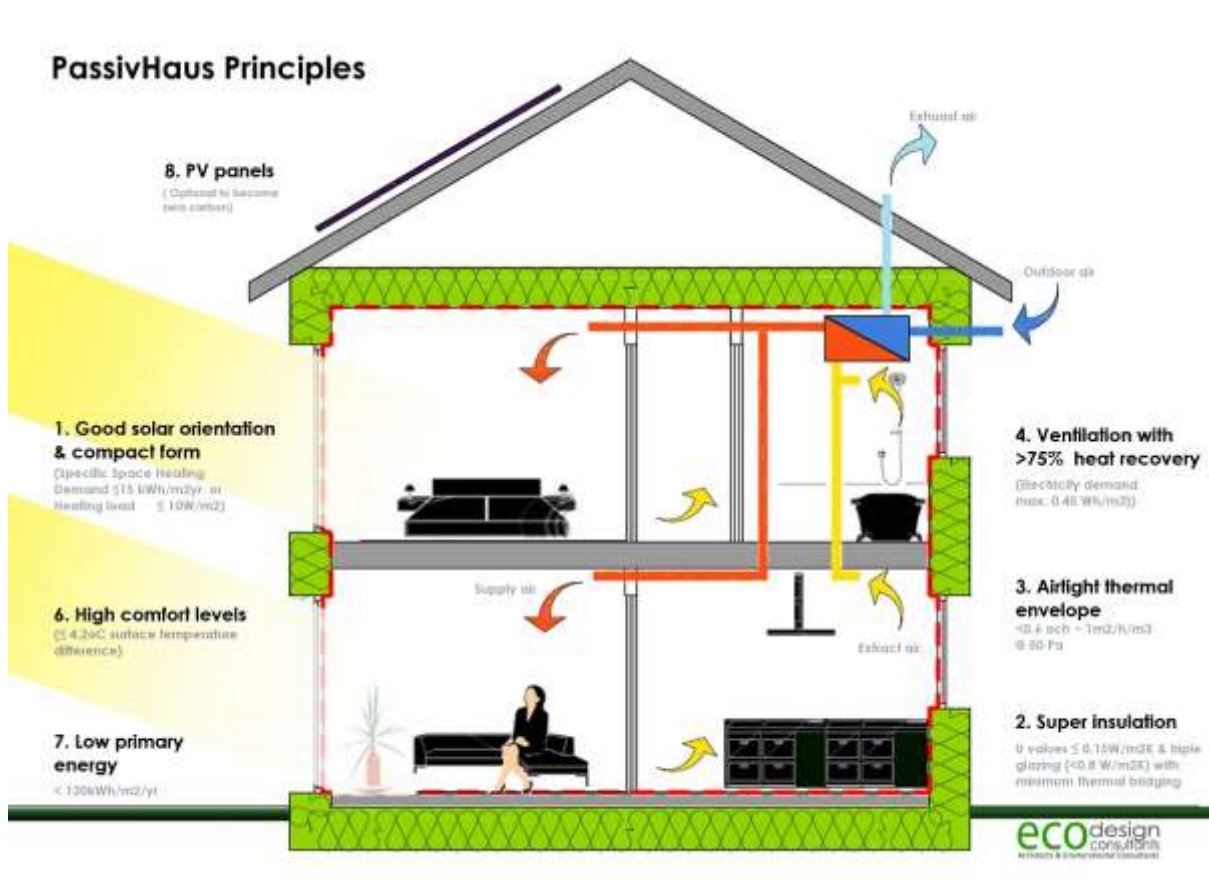
Náklady na sestavení bilance nelze však porovnávat pouze na základě spotřeby energií a jejich cen. Do problematiky je potřeba také započítat pořizovací náklady, dobu životnosti a náklady na její prodloužení či zajištění provozuschopnosti. V různých případech může být

jednodušší ušetření energie, než investovat do jiných energetických zdrojů. Obecně však platí pravidlo, že nejlevnější energie jsou ty, které nebyly vyrobeny. Především z těchto důvodů je práce koncipována tak, aby bylo možno určit přednosti jednotlivých systémů a vzájemně porovnat jejich ekonomickou výhodnost. (6)

2.3 KONCEPT PASIVNÍHO DOMU

Za zakladatele samotného konceptu pasivních staveb ('Passivhaus') je považován Bo Adamson z univerzity Lund ve Švédsku a Wolfgang Feist z Institutu pro ekologické bydlení v Německu.

Jejich „The Passivhaus Institute“ stál u zrodu jakostních kritérií, která stavba musí splňovat, aby mohla být oficiálně označena za pasivní dům. Pro získání této oficiální licence je nutno provést certifikovaná měření tak, aby bylo potvrzeno splnění požadovaných kritérií.



Obrázek 3: Princip pasivního domu (7)

2.4 PASIVNÍ DŮM

Pasivní domy jsou hlavním představitelem nízkoenergetických domů. Jedná se o budovy, které svojí roční potřebou tepla k vytápění nepřesahují $e_A \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$. Při předem stanovené venkovní teplotě -12°C je tepelná ztráta pod hladinou $10 \text{ W}/\text{m}^2$ vytápěné plochy. Dosažením této úrovně tepelné ztráty tak kompenzuje nutnost vybavení budovy konvenčním otopným systémem. Tepelnou ztrátu vzniklou nuceným větráním lze pokrýt v případě nízkých venkovních teplot zpětným získáváním tepla z odváděného vzduchu za využití zařízení pro dohřev vzduchu.

Pro zařazení domu mezi domy pasivní je nutné, aby splňoval následující kritéria:

- prostup tepla obvodových konstrukcí $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \times \text{K})$,
- nucené větrání dosahuje účinnosti ve výši 75 % získávání zpětného tepla,
- stavba je dokonale utěsněna proti průvzdušnosti ve spárách,
- primární energie spojená s provozem budovy nepřekračuje $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$, kde se za primární energie považují vstupy do budovy (ohřev TV, provoz spotřebičů, krytí tepelných ztrát...) násobené faktorem energetické přeměny (dle způsobu získávání energie). (8)

Pro pasivní dům není nutné budovat zimní či střešní zahrady, jak je často mylně předpokládáno. Tyto prostory však většinou nepřispívají ke zlepšení energetické bilance domu a naopak je nutné provedení důkladného stavebního oddělení od ostatních prostor objektu pro zajištění dostatečného větrání.

Z hlediska energetické náročnosti nejsou pasivní domy na vrcholu žebříčku soběstačnosti. Ještě větších energetických úspor dosahují tzv. domy nulové, domy energeticky nezávislé či dokonce domy s energetickým přebytkem.

Při výstavbě pasivních domů je důkladné promyšlení, plánování a realizace celkové koncepce zcela zásadní a má velký vliv na výsledný stav a energetickou náročnost budovy. Hlavní oblasti, na které je důležité dávat pozor již před samotnou výstavbou pasivních domů, jsou uvedeny dále.

2.4.1 Koncepční příprava

K dosažení energetických úspor budovy je důležitá přípravná fáze projektu, která zpravidla nejvíce dokáže ovlivnit výsledné energetické vlastnosti budovy. Následující realizační fáze projektu pak již dodržuje pravidla stanovená v přípravné fázi a staví na nich.

Orientace a lokalita

Obecně lze u nízkoenergetických domů předpokládat využití nebo snížení tepelných příjmů a úniků plynoucích z orientace domu. Tyto stavby mají převážně jednoduché obdélníkové tvary, bez výřezů apod., natočené delšími stranami z východu na západ. Severní strana bývá často bez oken k redukci teplotních úniků. Naopak jižní strana je zpravidla prosklená a otevřená, k zajištění přístupu maximálního množství slunečních paprsků a tepla. Díky oproštění stavby od zbytečných zalomení fasády, čímž je dosaženo redukce plochy vnějších ochlazovaných konstrukcí, a využitím tepelných zdrojů z vnějšího prostředí je docíleno snížení potřeb energií na vytápění.

Ke snížení tepelných ztrát je také dobré věnovat pozornost vhodnému umístění domu. Je proto žádoucí při výběru lokality k realizaci stavby pamatovat na následující faktory:

- hodnota nadmořské výšky - počítá se každých 100 výškových metrů pokles teploty o cca 0,65 °C,
- terén a okolní zástavba - ovlivňují proudění větru a ochlazování vnější konstrukce,
- vegetace - ovlivňuje vlhkost, zadržuje vodu, ovlivňuje proudění větru,
- vodní plochy v blízkosti, obecné vlastnosti oblasti, např. teplota v oblasti, množství srážek, atd.

Vnitřní dispoziční řešení

Dispoziční řešení pasivních domů je odvozeno od orientace a vnější konstrukce domu. Na severní straně, která je téměř bez oken jsou umístěny chodby, schodiště, technické místnosti, skladovací prostory, případně garáže apod., které nepotřebují tak velké dodatečné zvyšování teploty. Toto tzv. vnitřní zónování ztrácí na významu s vyššími tepelně izolačními vlastnostmi vnější konstrukce domu. Orientace obytných místností na jižní straně především ve spojení s prosklenými částmi konstrukce bývá často dispozičním řešením. Zásady dispozic úsporných domů:

- severní strana, umístění vedlejších prostor, tzv. tepelně vyrovnávací zóna,
- jižní strana, často užívané obytné prostory, zimní zahrady,

- východní a západní strany, místnosti dle předpokládané doby užívání (ložnice na východ, obývací pokoj na západ...). (8)

V některých publikacích se naopak poukazuje na zbytečnost výše uvedeného zónování stavby a vytvoření tzv. nárazníkové zóny ze severní strany. Důvodem k tomuto argumentu je podle Srdečného nutnost vytvoření dalších silnějších izolačních prvků v příčkách nebo zdech navazujících na tyto severní prostory. Izolace v těchto místech by tak měla být podobná samotné izolaci vnějších konstrukčních prvků. (6)

Tvarové řešení a velikost objektu

Jeden z důležitých aspektů, který do značné míry ovlivňuje potřebu energie k vytápění, je poměr venkovních ploch stavby a vnitřního prostoru. Posuzována je tedy vnější ochlazovaná plocha konstrukce vůči vytápěnému objemu, neboli tzv. geometrická charakteristika budovy A/V . Čím nižší jsou hodnoty A/V , tím nižší je spotřeba energie na vytápění a vice versa. Nízkoenergetické, a tedy i pasivní domy by měly minimalizovat poměr vnějších ploch ke svému celkovému objemu. Přidáním balkónů, lodžii, věžiček nebo fasádních výstupků se ochlazovaná plocha domu zvyšuje, a tím dochází ke zvyšování tepelných ztrát objektu. Tento efekt lze však do jisté míry kompenzovat vyšším stupněm zateplení. U velmi dobře zateplených domů je podíl ztráty tepla prostupem malý, a tak klesá i výsledný vliv tvaru budovy na tepelné ztráty. Zajištěním dostatečné tepelně izolačních vlastností však vyžaduje širší konstrukce a důsledkem je zmenšení vnitřní užité plochy těchto výklenků.

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



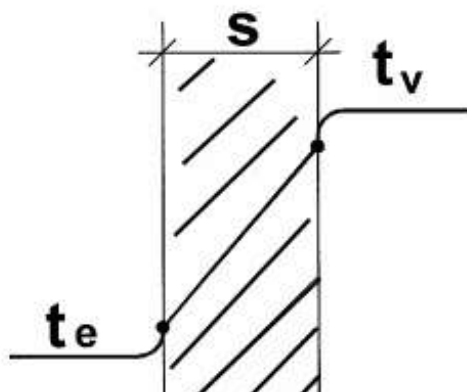
Obrázek 4: Zjednodušené porovnání obvodových konstrukcí stavby (autor)

3.1 POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH PROVEDENÍ

Nejen v případě rozhodnutí vytápět dům pouze využitím solární energie a zisku tepla generovaného pobytem osob a zapnutých spotřebičů je tepelná ztráta způsobená prostupem konstrukcemi esenciální. Velikost tepelné ztráty se odvíjí od izolačních schopností konstrukcí a jejich celkové venkovní styčné ploše. V případě členitého půdorysového obrazce budovy lze tepelné ztráty zbytečně navýšit do hodnot, které by bylo zapotřebí kompenzovat zvětšením tloušťky izolačních hmot.

Aby bylo možno pojednávat o teplé ztrátě, je potřeba identifikovat způsoby, jakým dochází k šíření tepla v konstrukcích. K tomu dochází na základě rozdílných teplot na různých místech téhož prostředí. Teplo tak proudí z míst s vyšší teplotou do oblastí, kde je teplota nižší (či naopak chlad do teplejších oblastí), a dochází tak k vyrovnávání teplotních rozdílů. Pro úplnost jsou níže uvedeny tři základní způsoby šíření tepla. K prostupu tepla obvykle dochází kombinací níže uvedených způsobů, nikoli výhradně jedním z nich:

- vedením,
- prouděním,
- sáláním.



Obrázek 5: Prostup tepla (autor)

Veškeré konstrukce, které jsou přímo v kontaktu s vnějším prostředím, jmenovitě obvodová, střešní i podlahová konstrukce, musí být adekvátně izolovány. Aby bylo docíleno pasivního standardu, je nutno dosáhnout izolačních vlastností $U \leq 0,15 \frac{W}{m^2 \times K}$ u všech těchto konstrukcí. Pro výpočet tepelné propustnosti budovy již ve fázi projektu, je potřeba posuzovat stavební konstrukce z hlediska fyzikálních vlastností využitých materiálů zabudovaných v jednotlivých konstrukcích. Jedná se o objemovou hmotnost, tepelnou vodivost, vlhkost a měrnou tepelnou kapacitu. Tyto údaje však musí být relevantní pro konkrétní podmínky, ve kterých bude materiál využit. Pro tyto účely jsou stavební materiály a jejich vlastnosti měřeny jak v laboratorních podmínkách, tak na zabudovaných konstrukcích a posléze jsou staticky vyhodnoceny. (9)



Obrázek 6: Termosnímek (10)

Pro záměry dosažení pasivního standardu je jednou z hlavních a nejvýznamnějších složek vlastností materiálu součinitel tepelné vodivosti. Ta vyjadřuje, jaká je míra přenosu tepla materiálu vedením. Součinitel tepelné vodivosti je značen jako λ s jednotkou $\frac{W}{m \times K}$.

Značný vliv na tepelnou vodivost mají následující faktory, z nichž nejvýznamnější je první uvedený faktor:

- objemová hmotnost,
- vlhkost,
- chemické složení,
- a teplota.

Pro názornost složitosti výpočtu celkového prostupu tepla budovou je v příloze č. 13 zahrnuta tabulka hodnot součinitele prostupu tepla pro okna, s plochou rámu 30 % z plochy okna s distančním rámečkem z plastu. I pro již takto úzce specifikovaný typ okna existuje široká škála hodnot, kterých může součinitel prostupu tepla nabývat, což poukazuje na komplexnost této problematiky.

Za cíle návrhů jednotlivých konstrukcí a celých objektů jsou z tepelně technického návrhu stanoveny:

- zajištění správné funkčnosti tepelně izolačních vlastností,
- zabránění kondenzace vodních par,
- vyloučení tepelných mostů,
- dosažení udržitelného a požadovaného mikroklimatu vnitřního prostředí budovy,
- dosažení minimální energetické náročnosti objektu.

Obecně jsou specifikace výrobků nebo daného materiálu poskytovány výrobcem. Ten je také povinen předložit jeho atest, jehož součástí jsou vlastnosti a podmínky aplikace daného prvku či materiálu. (9)

3.1.1 Stěny

K dosažení uvedených hodnot je obvykle nutná silná tloušťka izolačních prvků v konstrukcích, v případě nosných stěn se pohybujeme v dimenzích přes 50 cm z čehož cca 30cm tvoří izolace. Širší konstrukční provedení stěn znamená mít k dispozici menší vnitřní prostory. Je proto žádoucí najít takové řešení nosného zdiva, které bude co nejtenčí, ale dostatečně nosné a vyplněné izolací. Izolace samotná pak může být provedena buď jako vnější kontaktní zateplení se šterkovou omítkou či jiným provedením, nebo lze využít

sendvičových konstrukcí, kde je izolace mezi dvěma vrstvami zdiva (případně zdivem a fasádou).

K dosažení tenkých stěn je na místě zvolit skeletovou nebo rámovou nosnou konstrukci domu. Především u dřevostaveb je zvoleným řešením nosná dřevěná konstrukce, vyplňovaná izolací určité tloušťky a druhu (např. minerální vlákna, skelná vlákna, papírové vločky...).

Tabulka 3 uvádí orientační hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce s vnějším tepelně izolačním kompozitním systémem.

Tabulka 3: Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla dle konstrukce a izolace (11)

Konstrukce	Tloušťka konstrukce [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)]									
		Konstrukce bez tepelné izolace	Konstrukce s tepelnou izolací tloušťky [mm]								
			50	80	100	120	130	140	160	180	200
Cihla plná	300	1,93	0,57	0,40	0,33	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18
	450	1,44	0,51	0,37	0,31	0,27	0,25	0,24	0,21	0,19	0,18
	600	1,15	0,47	0,35	0,30	0,26	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17
Cihla CDm	240	1,93	0,57	0,40	0,33	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18
	375	1,46	0,52	0,37	0,31	0,27	0,25	0,24	0,21	0,19	0,18
Porotherm P+D	300	0,73	0,38	0,30	0,26	0,23	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16
	365	0,36	0,25	0,21	0,19	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
	400	0,33	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
	440	0,30	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
Porotherm CB	300	0,42	0,27	0,23	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
	400	0,32	0,23	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
	440	0,29	0,21	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
Supertherm STI	300	0,33	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
	365	0,27	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
	400	0,25	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
	440	0,23	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11
Plynosilikát	300	0,68	0,37	0,29	0,25	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15
	400	0,52	0,32	0,26	0,23	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14
Ytong	250	0,44	0,29	0,24	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14
	300	0,37	0,26	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
	375	0,30	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12

Škvárobetonové tvárnice	300	1,74	0,55	0,39	0,33	0,28	0,26	0,25	0,22	0,20	0,18
	400	1,41	0,51	0,37	0,31	0,27	0,25	0,24	0,21	0,19	0,18
Železobeton	200	3,51	0,65	0,44	0,36	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19
	250	3,19	0,65	0,44	0,36	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19

Při dosažení vysokých izolačních schopností použitých konstrukcí mají následně relativně velký vliv případné tepelné mosty v konstrukci. Jedná se o místa, kde je konstrukce nebo izolace zeslabena a dochází zde k zvýšenému úniku tepla. K zamezení vzniku tepelných mostů je nutné věnovat zvýšenou pozornost konstrukčnímu řešení obvodových stěn, a to při fázi návrhu a následně při samotné realizaci stavby. Důležité je především napojení tepelné izolace na ostatní konstrukcemi ve styku s vnějším okolím, např. okenních rámců, izolace kolem střešní konstrukce, krokví atd. Například ponecháním krokve procházející celou šířkou izolace dojde zvýšení prostupu tepla cca o 30 %. Z tohoto důvodu je zapotřebí při zvyšující se kvalitě těchto tepelně izolujících konstrukcí vyvarovat se detailů, které by měly relativně vysoký vliv na celkové zhoršení prostupnosti tepla budovy. Více podrobností k tepelným mostům bude uvedeno v samostatné kapitole.

Tabulka 4: Řešení detailů (4)

Způsob řešení detailů	Přírůstek prostupu tepla U [W/(m ² ·K)]
Zanedbání	>0,20
Kvalitní řešení	0,10
Opakovaně používané kvalitní řešení	0,05
Individuální řešení pomocí 3D modelování	0,02

Snahou takového konstrukčního řešení je dosažení takových vlastností konstrukce, která minimalizuje tepelné úniky, a tím snižuje energetickou náročnost budov natolik, že jsou energeticky velmi úsporné. Z výše uvedené tabulky 4 je patrné, že pomocí důsledných opatření při projekční činnosti a výstavbě lze celkovou tepelnou ztrátu redukovat. Zanedbáním těchto detailů může dojít ke znehodnocení celé investice do kvalitního konstrukčního řešení.

Proti prostupu tepla je nutno také izolovat podlahy a stěny přiléhající k terénu. Zapuštění domu do terénu za účelem využití stálých teplot však nese s sebou nejen zvýšené riziko na nákladnější a obtížně přístupné opravy, ale také náklady spojené s vytápěním. Dům zapuštěný až do hloubky 3 m pod okolním terénem, kde se stálá teplota pohybuje mezi 4 - 10° C, by musel být vytápěn i v době letních měsíců, kdy je teplota okolí výrazně vyšší. K odstranění negativního vlivu okolního terénu by bylo zapotřebí také využít lepší izolační prvky, čímž však dochází i k částečné redukci pozitivního vlivu okolního terénu.

Vnitřní řešení je navrhováno především pro dosažení co nejvyšší možné akumulace tepla, a to využitím masivní podlahové konstrukce a příček.

Odlišná situace nastává v letním období. Během slunečného dne prochází do domu velké množství tepla přes velké proskleněné plochy orientované převážně na jižní stranu. Při současném trendu zateplování vnějších stěn však dochází ke snížení možnosti ochlazování vnitřních prostor během chladnější noci. Tehdy teploty v exteriéru klesnou, tepelně izolovaná těžká stěna však není schopna ani během celé noci se dostatečně ochladit a sálající teplo tak i nadále přechází do vnitřních prostor.

Proti tomuto efektu letního přehřívání interiéru se často využívají stínící prvky oken např.:

- nadokenní přesahy,
- žaluzie,
- rolety,
- clonící markýzy,
- systém nuceného nočního větrání,
- klimatizační a rekuperační jednotky.

Platí zde zásada, že stínění na vnější straně oken je účinnější než stínění z interiéru. Poslední zmíněná varianta využití klimatizace je však krajní variantou, považovanou za špatně provedenou přípravnou fázi projektu stavby. Ceny za jednotlivá konstrukční řešení se výrazně liší, a to jak co se týče různých způsobů stínění, tak i v rámci jednotlivých provedení. Např. ceny za venkovní žaluzie se mohou pohybovat od 3 000 Kč za obyčejné na manuální ovládání, až po autonomní žaluzie za desítky tisíc korun. (4)

Na základě výše uvedeného lze shrnout, že s vyšší izolační schopností konstrukce roste vliv detailů na celkový prostup tepla touto konstrukcí. Zateplením obyčejné cihlové stěny dojde jen k výraznému zlepšení z pohledu redukce prostupu tepla. Naopak zanedbáním detailu u kvalitně izolované konstrukce nastane efekt zcela opačný z pohledu procentuálního nárůstu či poklesu celkového prostupu tepla.

Tabulka 5 uvádí srovnání orientačních cen některých typů konstrukcí s ohledem na jejich tepelně-izolační schopnosti. Seznam není vyčerpávající, poskytuje pouze náhled do problematiky spojený s využitím různých technologií pro stavbu, kterých je na trhu nepřeberné množství. Jednotlivá provedení lze navíc různě modifikovat a vzájemně kombinovat. Z tohoto důvodu je třeba vždy konkrétní variantu ověřit tepelně-technickým výpočtem, zejména z hlediska součinitele prostupu tepla. Stejně jako v porovnáních uvedených dále v práci jsou tyto ceny uváděny pouze za materiál bez nákladů spojených s instalací, dovozem apod.

Tabulka 5: Orientační srovnání cen obvodových stěn a druhů zateplení (autor)

Provedení	Součinitel prostupu tepla U	Cena za m ² [Kč]
Nosná cihlová stěna se zateplením	0,2	1 300
Nosná cihlová stěna se zateplením	0,11	2 300
Porotherm P+D se zateplením	0,24	1 000
Porotherm P+D se zateplením	0,14	1 150
Ytong se zateplením	0,29	1 400
Ytong se zateplením	0,13	1 800
Dřevěná konstrukce výplňová	0,22	3 400
Dřevěná konstrukce výplňová	0,13	3 900
Stěna z polystyrenových tvarovek	0,28	1 000
Stěna z polystyrenových tvarovek	0,14	2 300
Kontaktní zateplovací systém miner. vata	0,24	900
Kontaktní zateplovací systém polystyren	0,24	600
Odvětrávaný systém s dřevěným obkladem	0,18	850

3.1.2 Podlaha

Podlahy jsou jedno nebo vícevrstvé konstrukce uložené na stropní konstrukci nebo terénu. Skladba podlahy má významnou funkci a značně ovlivňuje kvalitu bydlení a energetickou bilanci domu. Na podlahy jsou však kladeny ambivalentní požadavky. Na jedné straně musí být dostatečně výhřevné, nevodivé a teplé na dotek, na straně druhé však musí mít dostatečné akumulaci schopnosti pro jejich pasivní využití a příjmy tepla ze sluneční energie. Do určité míry lze tyto požadavky částečně splnit zavedením podlahového topení, které bude

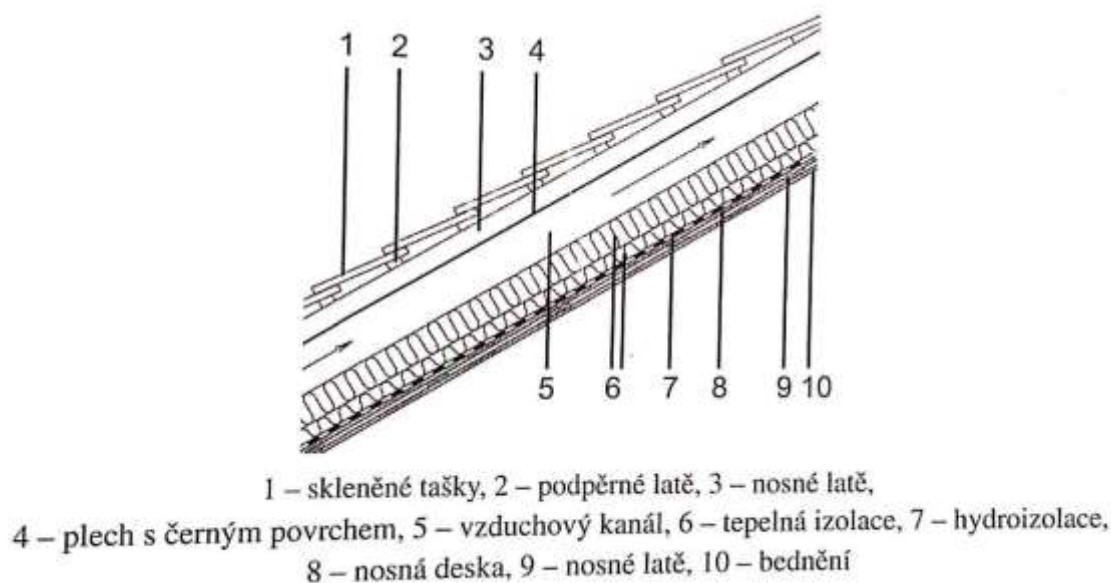
provozované v nízkých teplotách tak, aby podlaha mohla absorbovat dodatečné sluneční tepelné zisky. Další problematickou oblastí je umístění tepelné izolace. Pokud bude umístěna přímo pod nášlapnou vrstvu, dojde k odizolování konstrukce samotné a zhoršení její akumulací vlastností. A pokud by byla tepelná izolace instalována ze spodní strany stropu, dojde ke zhoršení napojení tepelných vazeb mezi stropem a stěnami spodních prostor. (9)

3.1.3 Střecha

S častým problémem i u novostaveb rodinných domů jsou vestavby obyvatelných půdních prostor. Nezřídka se potom setkáváme se zjištěním majitelů, že při poklesu venkovních teplot (např. pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) nelze tyto podkrovní části domu vytopit na požadovanou vnitřní teplotu, i přes maximální výkon topného zdroje. Tento problém však zpravidla má hlubší kořeny, než pouze poddimenzovaná topná tělesa. Zdrojem problému je obvykle nedostatečná vzduchotěsnost střechy budovy, kde se využívá izolačních fólií umístěných pod sádkartonovým obkladem nebo velkoformátové desky na bázi dřeva. V případě, že dojde k nekvalitnímu provedení vzduch těsnicí skladby, dochází k nekontrolovatelné výměně vzduchu, na kterou nejsou topná tělesa při projektových výpočtech dimenzována. Vnikající studený vzduch tak ochlazuje nejen vnitřní prostředí domu, ale dochází také k přenášení chladu na konstrukční prvky domu, především na jejich povrch, kde následně vzniká kondenzace vodních par, čímž je vytvořeno výživné klimatické prostředí pro růst plísní. (4)

Nejčastější příčiny nedostatečné vzdušné těsnosti střech vznikají nedodržením správných přesahů fólií či samotným jejím porušením např. protržením.

Jedním z typů energeticky úsporného návrhu konstrukce střechy je tzv. energetická střecha. Hlavní odlišnost od běžného provedení střechy spočívá v typu použité krytiny, která je v tomto případě vyrobena ze skleněných tašek. Skleněnou krytinou procházejí sluneční paprsky funkční mezerou do absorpční plochy, která je tvořena tmavě zbarveným plechem, či jiným typem tmavého absorbéru tepla. V mezeře mezi plechy a krytinou tak dochází k proudění vzduchu, který je ohříván slunečním zářením. Podmínkou správné funkce tohoto systému je minimální sklon střechy 30° . Největší využití těchto střech je u nižších domů, u kterých to je právě střecha, která je vystavena největší tepelné zátěži.



Obrázek 7: Schéma energetické střechy (9, s. 521))

Tabulka 6 uvádí srovnání orientačních cen některých typů konstrukcí s ohledem na jejich tepelně-izolační schopnosti.

Tabulka 6: Orientační srovnání cen za podlahy a střešní konstrukce (autor)

Provedení	Součinitel prostupu tepla U	Cena za m ² [Kč]
Šikmá střecha -skelná izolace celkem 180 mm	0,25	1500
Šikmá střecha -skelná izolace celkem 450 mm	0,15	1850
Plochá střecha -železobeton 125 mm s celkovou tepelnou izolační vrstvou s izolací 100 mm	0,22	2100
Plochá střecha -železobeton 125 mm s celkovou tepelnou izolační vrstvou s izolací 190 mm	0,13	2400
Hrubá podlaha 200 mm izolace	0,14	500
Hrubá podlaha 90 mm izolace	0,28	350

3.1.4 Výplně stavebních otvorů

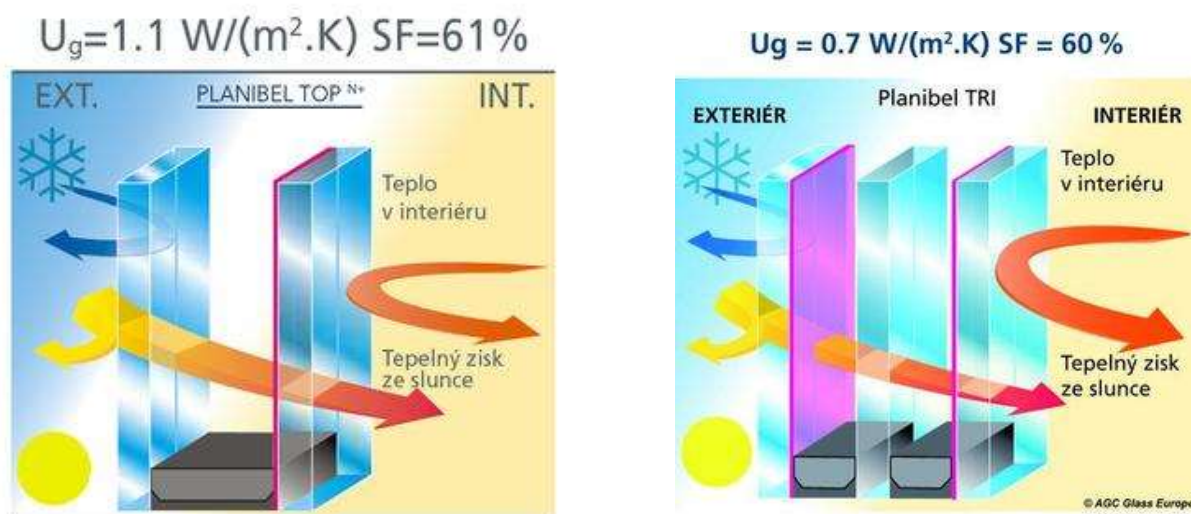
Okna a dveře mají v pasivních budovách vedle úkolu prosvětlit vnitřní prostory další důležitou funkci. Fungují totiž jako světelný radiátor a díky důsledné optimalizaci umístění, velikosti a druhu oken zabezpečují celoroční kladnou tepelnou bilanci.

Okna

Okna jsou důležitým prvkem pasivního domu, jenž může výrazně ovlivnit výsledek a tepelnou pohodu v domě. Na okna jsou z hlediska energetické bilance kladeny do jisté míry protichůdné požadavky. Zásadním požadavkem je, že jimi nesmí unikat z objektu zbytečné množství tepla, naopak je však také žádoucí, aby tepelné zisky energie z prostupu slunečního záření těmito plochami byly co nejvyšší a zajišťovaly přirozené vytápění domu. Stejně jako obvodové stěny mohou být, a zpravidla již jsou, okna vybavena izolační vrstvou. V tomto případě je izolační prvek tvořen pouze mezerou mezi okenními skly. S rostoucím počtem oddělených skel roste izolační schopnost oken a klesá součinitel prostupu tepla. Vzniklý prostor mezi skly je navíc obvykle plněn plynem, který má lepší izolační vlastnosti než vzduch, využívá se například argon. S každým přidaným skleněným plátem se však také snižuje množství prostupného světla.

Pro dosažení adekvátního proslunění a zároveň izolačních vlastností zabráňujících úniku tepla je možné zvolit různé variace typu oken s ohledem na jejich umístění. U oken orientovaných na chladnější stranu je možné použít okna s vyšším izolačním účinkem, např. trojskla a na teplejší, více prosluněnou stranu umístit okna s relativně horšími izolačními vlastnostmi. Neopomenutelné jsou však další faktory, které výběr oken ovlivní: nutnost redukce hluku, zajištění dostatečného soukromí obyvatel a také třeba přítomnost vnějších porostů - toto všechno může ovlivnit výběr vhodného okenního řešení.

U oken orientovaných na západ či východ jsou především kvůli nízkému úhlu dopadu slunečních paprsků vysoké tepelné příjmy a může docházet především v letních měsících k přehřívání domu, ale také ke ztrátě tepelného zdroje v zimních měsících. Střešní okna jsou



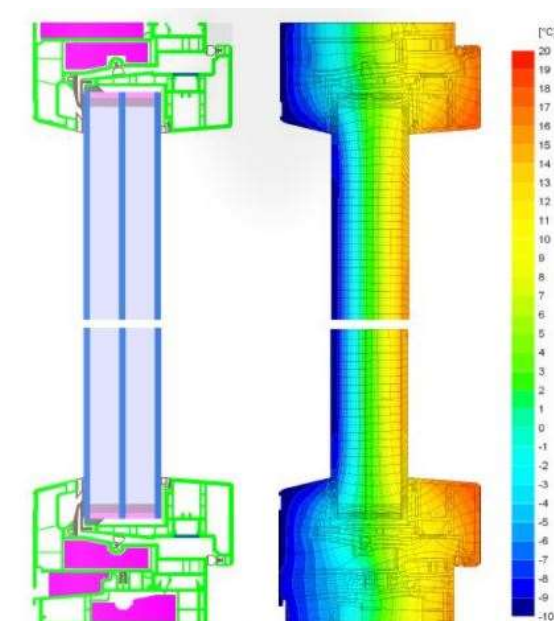
Obrázek 8: Ilustrační zobrazení prostupu tepla a světla okny (28)

v podobné situaci. Jejich šikmým natočením dochází navíc k většímu prostupu slunečních paprsků a přehřívání podkrovních místností. Jižní stranu domu lze i před nižším postavením slunce chránit pomocí zastínění.

Ukotvení rámu okna, je potřeba řešit tak, aby zde nevznikaly tepelné mosty, aby tudý nezatékalo, neprocházel nadměrný hluk ani vzdušná vlhkost. Zároveň musí toto řešení umožňovat vzájemné dilatační pohyby okna a stěny, které se mohou vzájemně lišit.

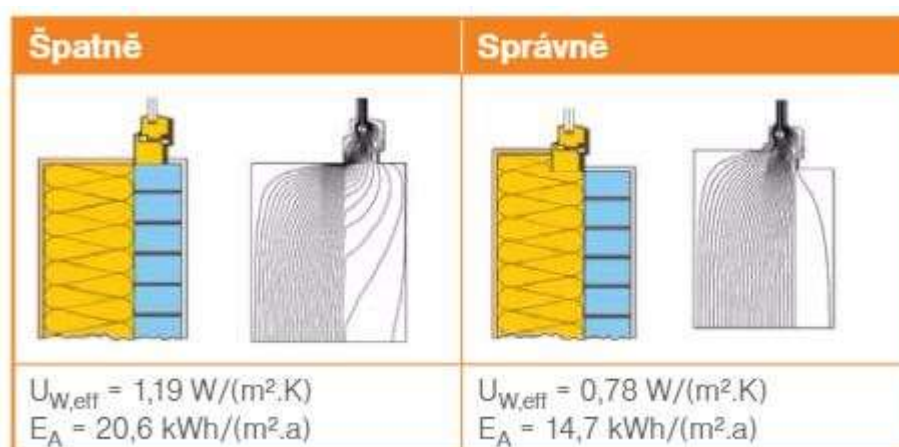
Samotné zasklení oken představuje také složitý systém sám o sobě. V současné době se však již běžně vyrábějí okna s velmi nízkým součinitelem prostupu tepla U , případně existují i tzv. "Tepelná zrcadla" - Heat mirror. Jedná se o plastovou pokovenou fólie nataženou mezi dvěma skly. V dnešní době jsou okna technicky schopna dosahovat součinitele prostupu tepla U pod $0,6 \frac{W}{m^2 \times K}$ a v případě tepelných zrcadel dokonce pod $0,3 \frac{W}{m^2 \times K}$. Z tohoto pohledu tedy není problematické na standard pasivního domu dosáhnout, otázkou jsou však náklady spojené s realizací těchto provedení.

Další částí okenní konstrukce jsou okenní rámy a křídla. Na tyto části jsou kladeny požadavky především s ohledem na pevnost, únosnost, odolnost proti větru a také malý součinitel prostupu tepla. Jedná se o nejslabší článek obálky, musí proto obsahovat tepelnou izolaci. Navíc také nepřináší žádné solární zisky, pouze ztráty. K tomuto účelu jsou využívány především dřevěné (masív nebo lepené lamely) a plastové materiály doplněné o tepelnou izolaci z umělé hmoty či jiných izolačních materiálů. Lze se také setkat s kovovými okny, především však u administrativních staveb, nosným materiálem bývá hliník nebo ocel. Hlavní výhodou je vysoká pevnost a odolnost, a jsou tak využívány především u velkoplošných prosklených stěn.



Obrázek 9: Ideální rozložení prostupu tepla okny (12)

Vliv na funkci okna má samotné jeho zabudování do stěny. Při běžném zabudování, kdy je rám usazen v úrovni zdiva, dochází k výraznému zhoršení parametru součinitele prostupu tepla. Správně osazené okno by mělo být ve vrstvě tepelné izolace - tzv. předsazená montáž okna. Rám okna je pak z vnější strany ještě překryt největší tloušťkou izolace. Pokud jsou okna osazena nevhodným způsobem, dojde ke zvýšení potřeby tepla na vytápění, které může dosahovat až 50 %. Tato skutečnost tak jen potvrzuje fakt, že pasivní dům je nutné řešit komplexně již ve fázi projektu a že každá chyba se na výsledku projevuje razantněji než u běžných domů.



Obrázek 10: Osazení okna (12)



Obrázek 11: Dřevěný okenní rám z několika materiálů (13)

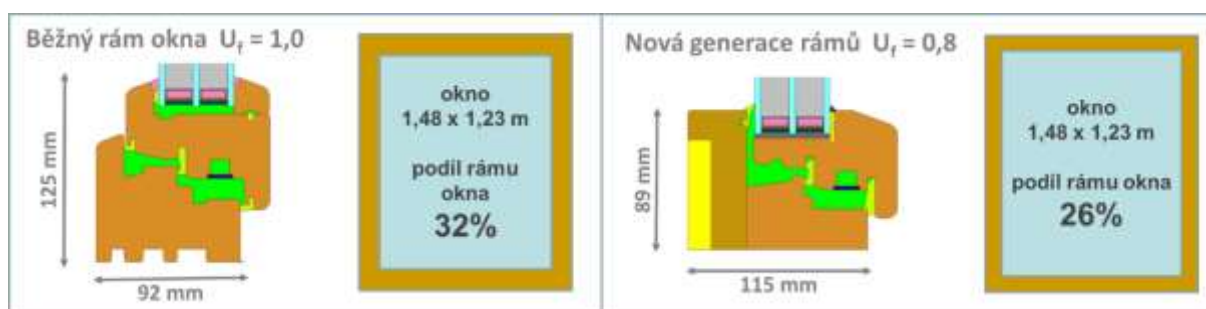
Jinou možností je zasazení oken do plastového rámu v kombinaci s tepelnou izolací.



Obrázek 12: Plastové okno (13)

Do okenních profilů, dnes již běžně pěti a šestikomorových, z tvrzeného plastu se může vložit tepelná izolace, která zvýší tepelný odpor a sníží prostupnost tepla. Snížení prostupu tepla rámu je velice důležité, samotný podíl rámu a křídla na celkové ploše okna činí 15 až 35 %, ale přitom ve srovnání s okrajovou částí zasklení dosahuje o 10 až 20 % horších tepelně izolačních vlastností.

Trendem budoucnosti jsou rámy, které jsou sice širší, ale zato nižší, jak je patrné na následujícím obrázku (obrázek 13).



Obrázek 13: Porovnání ráků (14)

Za samostatnou kapitolu stojí v pasivním domě střešní okna. Zasklenění oken, které jsou nakloněné, vede ke zhoršení prostupu tepla až o 20 %. Problémem je také izolace střešních oken, která jsou osazena do roviny střešní krytiny, tedy mimo izolační obálku. Několik střešních oken může značně zhoršit potřebu tepla na vytápění, což u pasivních domů není žádoucí. Problematické je také zastínění v letních měsících, které by mělo předcházet přehřívání podkrovních místností. Dohromady tyto činitele tvoří poněkud problematický prvek a bylo by vhodnější se těchto konstrukcí vyvarovat nebo je důsledně zvážit.

Tabulka 7 uvádí srovnání orientačních cen některých typů konstrukcí s ohledem na jejich tepelně-izolační schopnosti.

Tabulka 7: Orientační srovnání cen oken (autor)

Provedení	Součinitel prostupu tepla U	Cena za m ² [Kč]
Dvojsklo s pokovením	1,6	2300
Dvojsklo s heat mirror	0,6	2500
Trojsklo s plastovým rámečkem	0,7	2150

Dveře

Dveře slouží ke komunikačnímu spojení dvou prostor se stejným nebo různým klimatem a z hlediska tepelně technického provedení jsou na ně kladeny stejné požadavky jako na okna, ale z důvodu menšího podílu na celkové ploše obvodových konstrukcí je jejich vliv na energetickou bilanci minimální.

3.1.5 Větrání

Energie vynaložená na ohřev vzduchu z větrání se v běžné výstavbě pohybuje okolo 30 % celkové spotřeby. Podíl na celkové spotřebě klesá adekvátně s kvalitnější izolací ostatních konstrukčních prvků a snižováním celkové tepelné propustnosti.

Obvykle se větrání navrhuje s ohledem na požadavek intenzity výměny vzduchu v místnosti pohybující se ve rozmezí 0,3 až 0,5 za hodinu, což znamená že dojde k celkové obměně vzduchu v místnosti za dvě až tři hodiny. Takovéto množství výměny vzduchu zajišťuje dostatečný přívod čerstvého vzduchu na osobu. I za předpokladu prázdných místností je určitá intenzita výměny vzduchu nutná, tak aby docházelo k dostatečnému odvodu vlhkosti a dalších výparů např. z nábytku, v tomto případě by měla být intenzita větrání cca $0,1 \text{ h}^{-1}$.

K dosažení dostatečného přívodu čerstvého vzduchu lze využít ventilátorů, které také mohou díky použití filtrace snižovat prašnost v domě, případně vzduch zvlhčovat. U tohoto způsobu řešení lze také využít možnosti odvodu přebytečného tepla z vyhřátých místností v domě do těch chladnějších. Tento systém však vyžaduje instalaci potrubí, které také může z místností přenášet různé pachy a způsobovat nežádoucí přenášení zvuků z jedné místnosti do jiné. Především v novostavbách jsou ventilátory řešeny centrální jednotkou s dalším rozvodem vzduchu potrubím do jednotlivých místností. U větrání řízeného tímto způsobem však obvykle nedochází k ohřevu vstupního vzduchu a je tak opět nezbytné dodatečné vytopné zařízení.

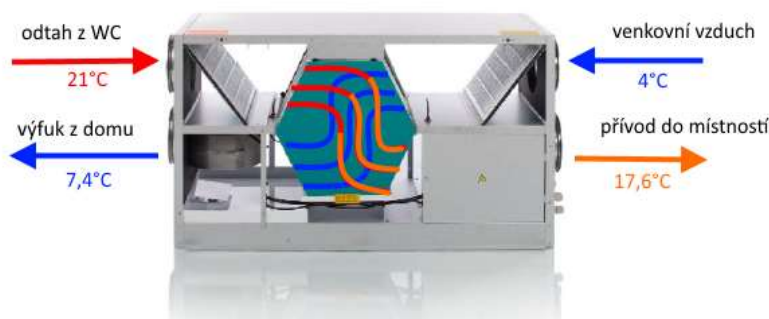
Rekuperační systémy

V případě dobře izolovaného domu lze dobře navrženým větracím systémem vyřešit i otázku vytápění. Ohřev vzduchu, který je do místnosti přiváděn, například napojením na kotel, je umožněn přísun pouze již tepelně přizpůsobeného vzduchu a toto řešení kompenzuje nutnost investice do radiátorů či jiných vytápěcích zařízení.

Využití rekuperace, tedy zpětného získávání tepla, snižuje celkovou tepelnou ztrátu, která by v jiném případě prošla nevyužitá do vnějšího okolí. Odváděný teplý vzduch předává část svého tepla čerstvému vzduchu vháněnému do místnosti. Účinnost rekuperace je udávána v procentech a vyjadřuje, kolik tepla je vráceno zpět do místnosti. Za minimální požadavek je označována alespoň 50% rekuperační účinnost, velmi kvalitní zařízení mohou dosahovat až téměř 90% účinnosti. (15)

Pro účely rekuperace se využívají různé druhy výměníků. Mezi nejčastěji využívané výměníky patří takové, kde jednou částí systému proudí vzduch průvlastky ven a druhou dovnitř. Tyto části zůstávají však odděleny a nedochází k mísení, pouze k předání energií. Tento systém je označován jako pasivní rekuperace. Jedním z používaných konstrukčních provedení je plastový deskový výměník. Aplikace plastového výměníku umožňuje jednoduché vyčištění a zamezení tvorby a usazování plísní. Tento systém však nedokáže mimo teplotu předávat i vlhkost odpadního vzduchu. Zato regenerační výměník naopak dokáže předávat i adekvátní

vlhkost vzduchu, nevýhodou však je periodicky se opakující nutnost výměny papírových lamel ve výměníku. Cena pasivních rekuperačních systémů se pohybuje kolem 50 000 Kč za jednotku.



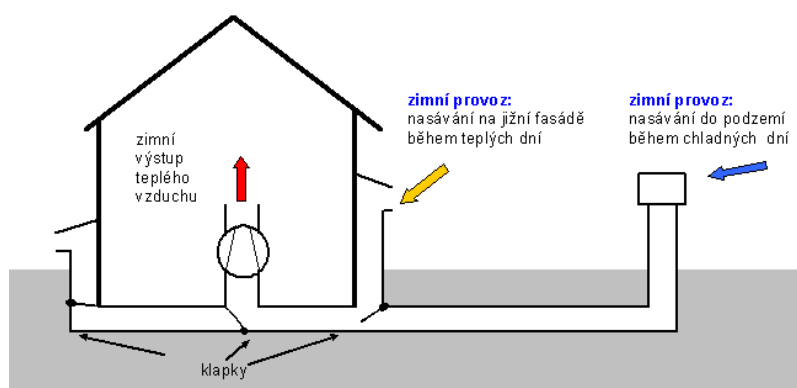
Obrázek 14: Pasivní rekuperace (27)

Dalším používaným způsobem k zajištění výměny vzduchu je uplatnění aktivního rekuperačního systému. Jsou zde instalována tepelná čerpadla, které umožňují také dodatečné ohřátí přiváděného vzduchu na vyšší teplotu, než je teplota odváděného vzduchu. Tento systém si však pro vlastní činnost žádá dodatečnou energii k provozu. Jeden z předních českých dodavatelů aktivních rekuperačních systémů uvádí, že z 1 kWh dodané elektrické energie lze rekuperací získat až 4,4 kWh tepelné energie. Značnou nevýhodou je však vysoká vstupní investice do tepelného čerpadla, která činí cca 120 000 Kč, v případě aktivní rekuperace se systémem na ohřev vody se potom tato částka zvýší ještě o cca 40 000 Kč. Jak v případě pasivního, tak i aktivního rekuperačního systému se však náklad ještě zvýší o cenu materiálu a instalace tepelných rozvodů. Z obecného hlediska je vyčíslení těchto pořizovacích nákladů poměrně komplikované, jelikož závisí na velikosti a podlažnosti objektu, umístění rekuperační jednotky, typu zařízení a jeho funkcích. Zjednoduše lze odhadovat ceny za instalaci pro 150m² cca 60 000 Kč.



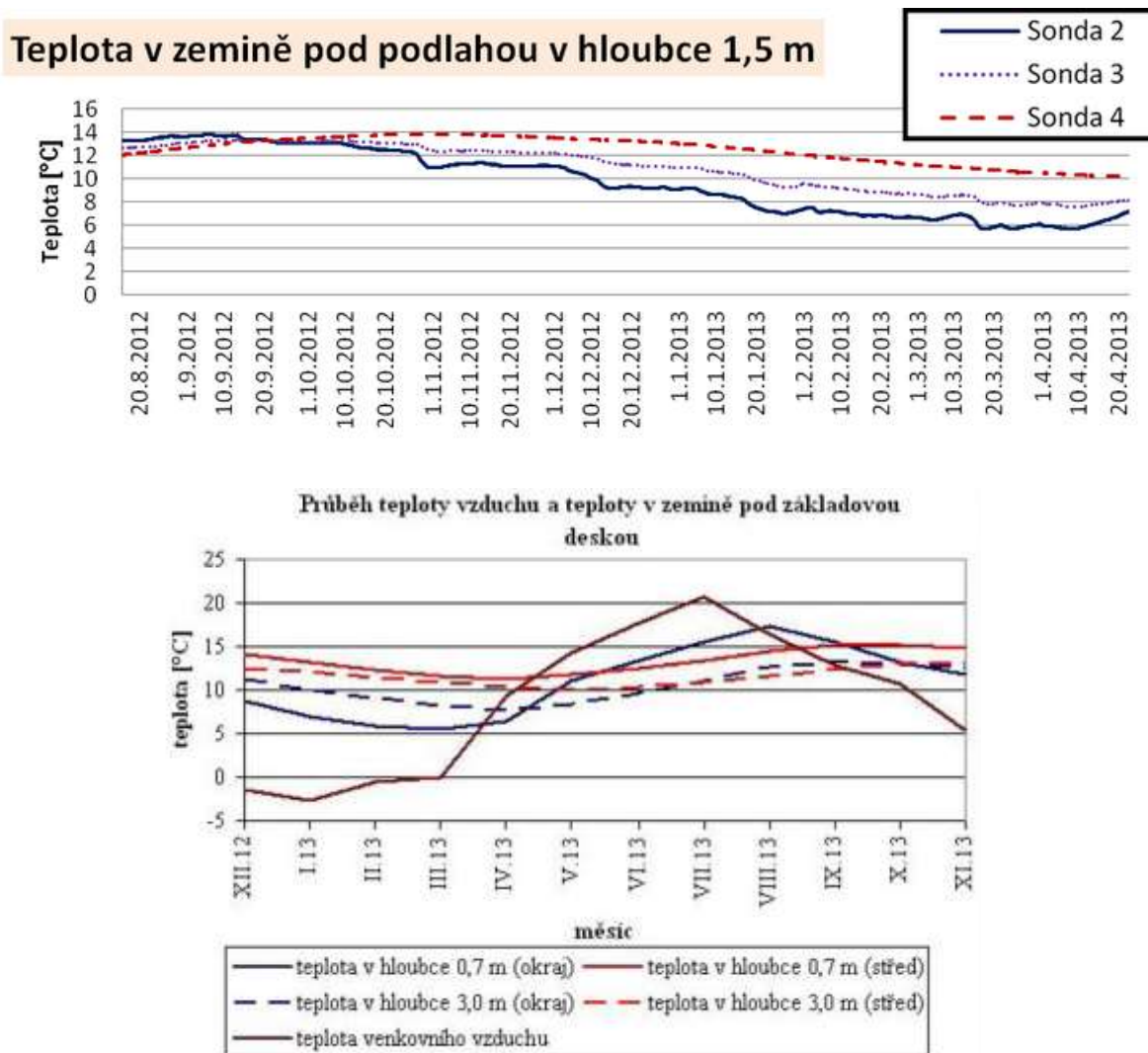
Obrázek 15: Aktivní rekuperace (27)

Příchozí vzduch lze také předehřívát za využití zemního výměníku tepla. Princip je založen na vyrovnanější teplotě země pod povrchem, která může vzduch oteplovat nebo ochlazovat podle ročních období.



Obrázek 16: Zemní výměník tepla (16)

Potrubí pro větrání se uloží do hloubky přibližně 2 m pod povrchem země, kde obvyklá teplota kolísá mezi 5 až 15 °C. Tyto hodnoty však nezaručují aktuální teplotu vzduchu v okolí stavby, která může být např. v zimě někdy vyšší než je teplota pod povrchem. Aby byla vyloučena závislost výhradně na teplotě pod zemí, jsou zemní výměníky vybaveny otvory, které umožňují přímé nasávání vzduchu z okolí stavby, žádoucí je jejich umístění na jižní straně. Obvykle je zemní výměník nejvíce finančně výnosný v období, kdy je zemina ještě dostatečně vyhřátá a venkovní teplota klesá. Energetický přínos těchto výměníků je odhadován mezi 500 až 1 500 kWh za rok. Z ekonomického hlediska může být i přes nutnost dodatečného systému vytápění atraktivní, uvažujeme-li v dlouholetém časovém horizontu. Energetický přínos chlazením je odhadován nižší, pohybuje se v rozmezí 400 až 1 200 kWh za jeden rok. Investiční náklady na pořízení zemního výměníku tepla cca 55 000 Kč.



Obrázek 17: Průběh průměrné teploty vzduchu a teploty v zemině (17)

S instalací konstrukce navíc, která není obvykle součástí běžné stavby rodinného domu, však vyvstává otázka spolehlivosti daného systému a s tím spojených dodatečných nákladů na prodloužení provozuschopnosti. Z obecného hlediska platí, že s vyšším množstvím především pohyblivých součástí se zvyšuje riziko možnosti selhání celého systému a zákonitě se tak snižuje předpokládaná životnost systému. Systémy rekuperace vzduchu mají obvykle poměrně malé množství pohyblivých částí, ty jsou navíc umístěné v centrální jednotce, která výměnu vzduchu řídí. Další náklady za rekuperační systém jsou spojeny spíše s výměnami filtrů a pravidelnými provozními údržbami.

Funkční spáry

Zdrojem čerstvého vzduchu v domě je také přirozené větrání neboli infiltrace. Spáry v dolních částech okenních rámců a dveří přivádějí vzduch do místnosti a stoupající teplý vzduch je následně odváděn horní částí rámců těchto konstrukcí. Množství proudícího vzduchu závisí na rozdílu vnitřních a vnějších teplot, směru a rychlosti větru a způsobu obtékání domu. Některá řešení okenních konstrukcí implementují větrací otvor v rámu okna, který umožňuje větrání i v případě, že okna jsou zavřená.

O pohybu vzduchu v budově kromě výše zmíněné spárové průvzdušnosti rozhoduje především prostorové uspořádání místností, jejich vzájemné propojení a provoz v domě. V ucelené části budovy, např. obytné místnosti, chodbě, schodišti, atd., by měl být zajištěn funkční přirozený oběh vzduchu s jednotně řízeným teplotním režimem. Nucená větrání nebo klimatizace by měla být navrhována pro danou ucelenou jednotku a mělo by se počítat s infiltrací vzduchu v dané oblasti. S touto problematikou úzce souvisejí požadavky na funkční spáry, které při špatném, v dané situaci neadekvátním provedení zhoršují podmínky pro provoz rekuperačních jednotek. Tyto požadavky na provedení se vztahují na dveře mezi obytnými i užitnými místnostmi. Součinitel spárové průvzdušnosti funkčních spár výplní otvorů: $i_{LV} [m^3 / (s \cdot m \cdot pa^{0,67})]$. Tabulka 8 uvádí požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti.

Tabulka 8: Požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti (9, s. 315))

Funkční spára	Požadovaná hodnota součinitele spárové průvzdušnosti i_{LV}	
	V budově s přirozeným větráním	V budově s nuceným větráním nebo klimatizací
Vstupní dveře (celková nadzemní výška budovy do 8m)	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vstupní dveře a dveře oddělující ucelenou část budovy	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,30 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů (celková nadzemní výška budovy do 8m)	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$0,10 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů (celková nadzemní výška budovy od 8 do 20m)	$0,60 \cdot 10^{-4}$	$0,10 \cdot 10^{-4}$
Ostatní vnější výplně otvorů (celková nadzemní výška budovy nad 20m)	$0,30 \cdot 10^{-4}$	$0,10 \cdot 10^{-4}$

U přirozeného větrání se výměna vzduchu zajišťuje občasným otevřením oken uživateli budovy, instalovanými doplňkovými větracími prvky a zmíněnou průvzdušností funkčních spár ve výplních otvorů. Do jisté míry je tak přirozené větrání zajištěno obyvateli budovy a nikoli pouze a výlučně konstrukčním řešením a vlastnostmi stavby. Naopak v případě nuceného větrání a klimatizace se výměna vzduchu zajistí pomocí zařízení vzduchotechniky a průvzdušnost funkčních spár je minimální, tak aby byla zajištěna vyšší funkčnost těchto systémů. Uživatelé ovlivňují výměnu vzduchu i v tomto případě, avšak především stanovením výkonu a časových režimů systémů. (9)

3.1.6 Příprava teplé vody

Ohřev teplé vody je další významnou položkou ovlivňující celkovou energetickou bilanci domu. U starších a nedobře izolovaných objektů je z pohledu energií množství tepla výrazně nižší než množství energie potřebné k udržování stálé vnitřní domovní teploty. Opačně je tomu v případě energeticky úsporných domů, které nespotřebují takové množství energie k pokrytí teplených ztrát a energie vynaložené k přípravě teplé vody výrazně zasahují do celkové energetické bilance. Na samotný ohřev 50 l vody ze vstupních 10 °C na 70 °C je zapotřebí cca 3,5 kWh tepla. Pro běžnou denní potřebu se uvádí spotřeba 3,5 až 5 kWh za den na osobu.

Pro podrobnější zkoumání energetické náročnosti přípravy teplé vody je nutno identifikovat různé způsoby její přípravy. Pro ohřev stejného litru vody na stejnou teplotu je u různých zdrojů tepla potřeba odlišné množství energie především z důvodu různých způsobů předání teploty. Mezi nejčastěji užívané způsoby lze zařadit:

- samostatný ohřívač – elektrický bojler,
- plynový bojler nebo karm,
- kombinovaný kotel, který je také využíván pro vytápění,
- solární či jiné zdroje obvykle kombinované s jednotkou pro vytápění.

Ke snížení energetické spotřeby přispívají také automatické domácí spotřebiče, typu pračka a myčka, které lze také napojit na případně levnější zdroj teplé vody. Vliv na spotřebu vody je zanesen v následující tabulce (tabulka 9) za aktuální sazby 75,14 Kč za 1m³ (r. 2016).

Tabulka 9: Spotřeba vody (autor)

Činnost	Spotřeba vody [v litrech]	Cena [Kč]
Spláchnutí toalety	2 – 10	0,2 – 0,8
Koupel ve vaně	60 – 90	4,5 – 6,8
Sprchování	20 – 60	1,5 – 5,4
Mytí nádobí v myčce	10 – 30	0,8 – 2,3
Mytí nádobí v dřezu	15 – 40	1,1 – 3,0
Mytí nádobí pod tekoucí vodou	20 – 70	1,5 – 5,3
Praní v pračce	40 – 60	3,0 – 4,5
Mytí rukou	1,5	0,1
Pití	1,5 – 3	0,1 – 0,2
Vaření	5 – 7	0,4 – 0,5
Mytí auta	200	15,0

Na výše uvedené činnosti však není vždy zapotřebí teplé vody. Tabulka 10 zahrnuje průměrnou energetickou spotřebu. Jedná se o orientační hodnoty, vždy záleží na konkrétním způsobu přípravy teplé vody.

Tabulka 10: Spotřeba vody II. (autor)

Aktivita	Spotřeba vody [l]	Spotřeba energie [kWh]
Koupel ve vaně (50 °C)	60 – 90	3,0 – 4,5
Sprchování (50 °C)	20 – 60	1,0 – 3,0
Mytí nádobí v myčce (60 °C)	10 – 30	0,6 – 1,9
Mytí nádobí v dřezu (45 °C)	15 – 40	0,7 – 1,7
Mytí nádobí pod tekoucí vodou (45 °C)	20 – 70	0,9 – 3,7
Praní v pračce (60 °C)	40 – 60	2,5 – 4,5

Závěrem této kapitoly lze konstatovat, že průměrná roční spotřeba energie na přípravu teplé vody se pohybuje okolo 3 000 kWh.

3.2 TEPELNÉ MOSTY

Jak již bylo řečeno, tepelné mosty hrají při výstavbě úsporného domu velkou roli a je potřeba se těchto konstrukčních nedostatků vyvarovat. Za tepelný most jsou označována místa v konstrukcích, která se ve srovnání se stejnou konstrukcí bez teplených mostů vyznačují:

- odlišnou hustotou tepleného toku,
- změnou vnitřní povrchové teploty.

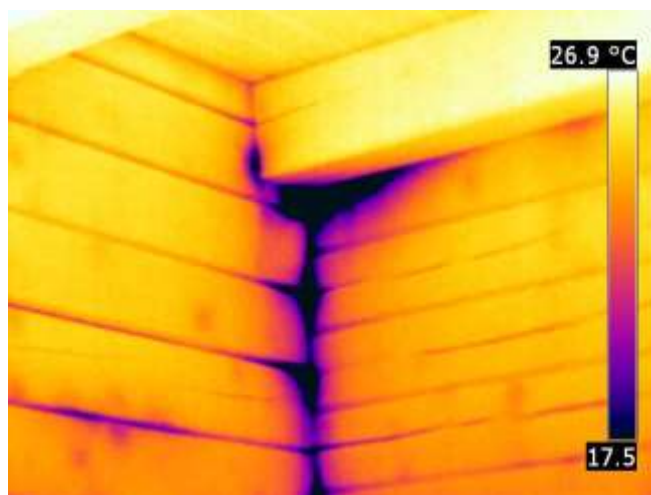
V místě tepelného mostu dochází v chladných obdobích k větší tepelné ztrátě a odvodům tepla z vnitřních a vytápěných prostor do okolí než ve zbylých částech konstrukce. Neblahý vliv má také rozdíl teplot v konstrukci samotné, kde je problémem především nižší teplota na vnitřním povrchu tepelného mostu ve srovnání se zbývajícím plochou konstrukce. Tím, že teplota na tepelném mostě může klesnout až pod požadovanou hodnotu teploty konstrukce, může docházet k vytváření povrchové kondenzace vodních par a tím vzniku podmínek pro vegetaci mikroorganismů a plísní, které mohou být dokonce nebezpečné pro zdraví obyvatel domu. Volbu konstrukčních řešení, která budou dosahovat požadovaných tepelněizolačních vlastností je proto nutné doplnit o návrhy, které zabrání vzniku tepelných mostů. Pokud takové řešení není především s ohledem na ekonomický aspekt věci možné, je zapotřebí teplený most přerušit nebo překrýt tepelně izolačním materiálem, který zabrání kolísání vnitřních teplot pod hranici požadavků konstrukce. (9)

Pokud je tepelný odpor konstrukce v některých místech změněn, dochází v daných místech ke vzniku tepelných mostů. Příčinou bývají:

- odlišné tloušťky vrstev stavební konstrukce,
- volba materiálů s odlišnou tepelnou vodivostí, díky které proniká teplo konstrukcí zcela nebo pouze její částí.

Nejčastější výskyty tepelných mostů bývají v místech:

- napojení konstrukcí (stěny a strop, obvodové stěny a základy, stěny a okna...),
- změnu tvaru konstrukce (rohy a kouty budov...),
- v místech horších tepelněizolačních konstrukcí (krokve, okna),
- změny konstrukčního řešení v obvodových zdech (dozdívání pomocí plných cihel,...).



Obrázek 18: Tepelný most (18)

Zásady řešení konstrukčních detailů pro omezení nebo odstranění tepelných mostů:

- využití konstantního obalového vnějšího zateplení,
- zateplení vnitřní strany v místech špatných konstrukčních řešení,
- jednoduchá geometrie domu,
- využití tepelněizolačních spojovacích materiálů,
- osazení oken v rovině tepelné izolace,
- provádět překlady za účelem přerušení tepelných mostů.

Mezi typická místa vzniku tepelných mostů lze uvést skladbu šikmé střechy se zateplením mezi krokve, kdy samotné dřevěné krokve tvoří tepelné mosty. Je důležité dbát jak na správné rozložení tepelné izolace po celé ploše, ale také na adekvátní zakrytí paropropustnou fólií, která zabrání vniku chladného vzduchu z exteriéru do samotné izolace. Pokud tepelná izolace není správně zakryta, dochází ke snižování tepelněizolačních vlastností. Za další rizikové faktory vzniku tepelných mostů jsou považovány:

- stěny, které prostupují stropní tepelněizolační vrstvu nad posledním podlažím,
- zateplení stropu (nad nevytápěnou místností) bez přesahu na obvodové stěny,
- chybějící izolace překladů nad obvodovými otvory,
- montování ocelových kotev do fasády,
- vnější konzoly pro stabilitu přesahů stavby,
- značně členitý tvar objektu. (4)

4 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ

Hlavním kritériem při výstavbě pasivních domů je obvykle na prvním místě (a to nejen pro dosažení samotného standardu) dosažení úspory plynoucí z provozních nákladů. Mezi provozní náklady bývají často zařazeny pouze samotné náklady spojené s vytápěním, tedy platby za energie nebo palivo. Do celkové energetické bilance objektu je však nutno zahrnout energie v různých formách a různého typu užití, např. energie na osvětlení, přípravu teplé vody, atd. Na základě kalkulace nákladů provozu jednotlivých systémů pak dostáváme přehled nejen o celkové finanční náročnosti energetického provozu jednotky, ale také dílčích systémů. Z této analýzy pak vyplývá možnost určení těch ekonomicky nejnáročnějších podsystémů.

Pro účel porovnávání byl stanoven časový horizont 20, 25 a 30 let zabezpečení energetického provozu rodinného domu.

4.1 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ VYTÁPĚNÍ

Základní předpoklady výpočtů

Výpočty jsou prováděny na základě hodnocení několika variant a určení přibližné výše finančních nákladů, případně úspor za dané časové období. Porovnání těchto úspor je uskutečněno na objektu navrženém dle stávající platné legislativy pro novostavby rodinných domů. Energetická spotřeba na vytápění, přípravu teplé vody, pomocné energie a osvětlení je určena na základě TNI 73 0331 Energetická náročnost budov, kde jsou uvedeny typické hodnoty pro výpočet a dále průměrné hodnoty spotřeby v domácnostech.

Jak již bylo v práci uvedeno, pro standard pasivního domu je podmínkou dosažení reálné měrné potřeby tepla na vytápění menší než $15 \frac{kWh}{m^2 \times a}$ a z této podmínky se při výpočtech vychází. Tím, že pro dosažení pasivního standardu musí být splněna tato podmínka, byly odstraněny faktické nedostatky při výpočtech, které by musely zohledňovat například lokální klimatické podmínky budovy, faktické vnitřní zisky, tepelné souvislosti, orientaci objektu atd. Tvar domu, počet podlaží či konstrukční řešení objektu jsou již začleněny do podmínky stanovení měrné potřeby tepla na vytápění.

Jedinou podmínkou tak zůstává vyjasnění podlahové plochy rodinného domu, kterou je potřeba stanovit (vztažná jednotka pro výpočet potřeb tepla pro vytápění). Podlahová plocha k vytápění je obecně ve výpočtech stanovena na $150 m^2$.

Za výchozí hodnoty energetických spotřeb pro další výpočty jsou uvažovány průměrné hodnoty spotřeb domácností. Na ohřátí 1 m³ vody na 28 °C se spotřeba pohybuje cca na 33,9 kWh. Čtyřlenná rodina, které ročně spotřebuje 90 metrů krychlových teplé vody, bude mít roční spotřebu cca 3 050 kWh/rok.

Do celkového výpočtu provozní spotřeby musí být také zahrnuty spotřeby energií na osvětlení, které jsou kalkulovány ve výši 700 kWh/rok a spotřeba energie na provoz spotřebičů v domácnosti ve výši 2 000 kWh/rok, které jsou pro obě uvažované varianty stejné, a to z důvodu porovnatelnosti. V neposlední řadě nelze opomenout dodatečné energie na provoz technického zařízení budovy s ohledem na technické parametry použité techniky.

Měrná potřeba tepla na vytápění je u běžné výstavby stanovena na hodnotou 82 kWh/m² za rok. V tomto objektu není uvažováno řízené větrání s rekuperací tepla. (19)

Přehledně jsou hodnoty uvedeny v následující tabulce (tabulka 11).

Tabulka 11: Výpočtové hodnoty (autor)

Parametr	Pasivní dům	Běžná výstavba
Podlahová plocha objektu	150 m ²	150 m ²
Měrná potřeba tepla na vytápění	15 kWh/m ² za rok	82 kWh/m ² za rok
Roční potřeba tepla na vytápění	2 250 kWh za rok	12 300 kWh za rok
Potřeba energie na přípravu teplé vody	3 050 kWh za rok	3 050 kWh za rok
Spotřeba energie na osvětlení	700 kWh za rok	700 kWh za rok
Spotřeba energie na provoz spotřebičů	2 000 kWh za rok	2 000 kWh za rok
Spotřeba energie na provoz technických zařízení	Podle zařízení	Podle zařízení

Varianty technického zařízení budov

Uvažovaná technická zařízení jsou chápána jako celek včetně veškerých komponent nutných pro dosažení správného a funkčního provozu. Výkon jednotlivých zdrojů odpovídá aktuálním možnostem na trhu a tepelným ztrátám objektů. Ve výpočtu není zohledněna efektivita přenosu ani distribuce energie resp. tepla otopnou soustavou, které by měly vliv především na komfort života ve stavbě.

Tabulka 12: Druhy vytápění a přípravy teplé vody (autor)

	Vytápění	Příprava teplé vody
1	Elektrické přímotopy v jednotlivých místnostech	Elektrický přímotopný boiler
2	Elektrokotel s teplovodní otopnou soustavou	Elektrokotel
3	Tepelné čerpadlo s vestavěným elektrokotlem	Tepelné čerpadlo s vestavěným elektrokotlem
4	Kotel na pelety s akumulací nádrží	Kotel na pelety s akumulací nádrží
5	Kotel na zemní plyn	Kotel na zemní plyn

4.1.2 Investiční a provozní náklady vytápění

Investiční náklady jsou vyhodnoceny jako prostý součet nákladů za materiál a montáž vč. DPH dle katalogových ceníků dodavatelů. Tato náklady jsou zahrnuty v plné výši bez finančních zvýhodnění nebo různých forem dotací. U provozních nákladů a měsíčních sazeb jsou uvažovány tarify dodávky za elektřinu a adekvátní jističe D 02d, D 045d a D 056d, v případě ceny pelet s širokou cenovou variací je uvažována průměrná cena. V základním porovnání není počítáno s vlivem růstu cen energií. Tento aspekt bude zohledněn v rámci samostatné komparace provozu pasivního domu a běžné výstavby. Časový horizont je stanoven na dobu 15 let. Po tuto dobu se předpokládá pouze běžný servis a údržba, bez nutnosti zásadní investice na opravu a poruchy. Skutečná životnost jednotlivých systémů tak není do hodnocení započtena a to z důvodu diskrétnosti potřebných dat.

Investiční náklady

V kalkulacích jsou použity ceny z veřejně dostupných nabídek na trhu. Mezi započtené investiční náklady jsou zakomponovány náklady na:

- rozvody otopné soustavy,
- zdroj energie,
- zásobník teplé vody,
- akumulací nádrž (je-li nutná),
- komín (vyžaduje-li ho daná soustava),
- instalace a zapojení systému,
- regulační systém.

Elektrická či plynová přípojka není do investičních nákladů započtena. Finanční náklady byly stanoveny jako průměrné hodnoty s ohledem na dostupné ceníky od jednotlivých výrobců ve srovnatelné hladině systémů.

Cílem tohoto hodnocení je porovnání jednotlivých systémů na obecné úrovni od různých výrobců. Nebudou proto uváděny žádné konkrétní popisné názvy systémů ani jejich dodavatelé.

Stejně jako při reálné realizaci stavebního projektu jsou i v tomto případě výpočty založeny na dostupných cenových nabídkách dodavatelů systémů. Další zevrubná analýza, která by zahrnovala hodnocení technické úrovně systému, detailní aspekt životnosti, komfort z hlediska užívání a podobná kritéria však nejsou v této kalkulaci zahrnuty.

Provozní náklady

Mezi provozní náklady potřebné k vytápění jsou zahrnuty:

- náklady na palivo nebo měsíční platby za elektrickou energii příp. zemní plyn,
- náklady na osvětlení a elektrické spotřebiče,
- náklady na údržbu celého systému (servis, revize a ostatní).

Tabulka 13: Cena zemního plynu a pelet (20)

Palivo	Jednotková cena [Kč/kWh]	Fixní sazba [Kč/měsíc]
Zemní plyn	1,46	167,90
Pelety	1,27	-

Tabulka 14: Celková cena elektrické energie (21)

Tarif	Nízký tarif [Kč/kWh]	Vysoký tarif [Kč/kWh]	Fixní sazba [Kč/Rok]
D 02d	4,11	4,11	2 117
D 25d	1,84	4,36	4 132
D 45d	2,23	2,72	4 596

4.2 SHRUTÍ NÁKLADŮ

Konstrukční řešení zvolená pro pasivní dům, přinášející benefity v podobě vyšší tepelné izolace, lepší ochranné konstrukce a úspory nákladů na energie, však na druhou stranu vyžadují vyšší pořizovací náklady. Pro ekonomické zhodnocení je možno vycházet z tzv. kapitálových nákladů, které představují konstantní průměrnou výši ročních nákladů rozloženou po celou dobu životnosti opatření. Za příklad kapitálových nákladů lze označit měsíční splátku hypotéky na pořízení nemovitosti včetně úroků. Za dobu ekonomické životnosti pak lze považovat dobu hypotečního splácení. Skutečná, technická životnost nemovitosti je oproti životnosti ekonomické odlišná a je zpravidla delší, čímž se následně zvyšuje ekonomický přínos.

Náklady na energii v pasivním domě jsou obecně díky redukci energetické náročnosti výrazně nižší. Vzhledem k opodstatněnému předpokladu růstu spotřeby, a tím i ceny energií tak lze usuzovat, že investice do úspor budou z dlouhodobého hlediska výhodnější.

Figure 5-1. OECD and non-OECD net electricity generation, 1990–2040
TWh/yr

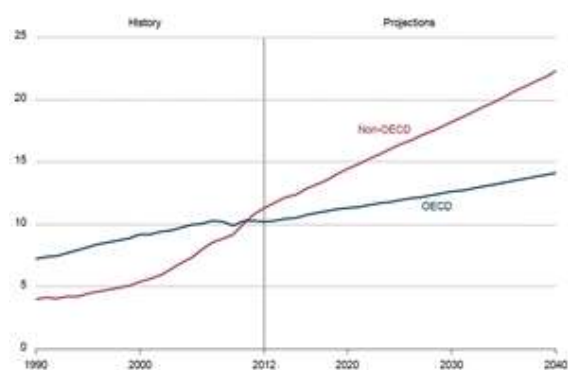
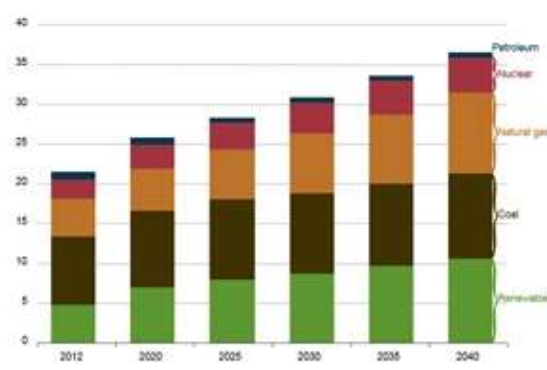


Figure 5-3. World net electricity generation by fuel, 2012–40
TWh/yr



Obrázek 19: Předpoklad vývoje spotřeby energií (29)

4.3 POROVNÁNÍ OTOPNÝCH SYSTÉMŮ

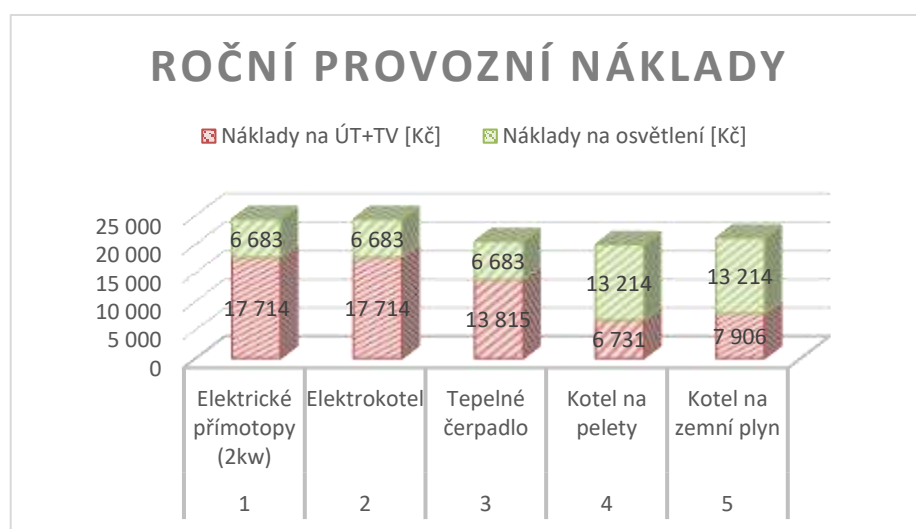
4.3.1 Pasivní dům

V následující tabulce (tabulka 15) jsou shrnuty investiční a provozní náklady pro jednotlivé způsoby vytápění pro dosažení standardu pasivního domu. Hodnota nákladů na osvětlení a domácí spotřebiče se v uvažovaných variantách liší z důvodu využití odlišných tarifů elektrické energie. U zdroje tepelného vytápění na elektrickou energii (1. až 3. varianta) je příslušný zvýhodněný tarif (tarif D 45d) uplatňován i na spotřebu elektřiny na osvětlení a pomocné energie. Pro stanovení investičních a provozních nákladů se vychází z výkonu potřebného pro vytopení 150 m² užitné plochy a 2,6m výšky. Při využití tarifů je uvažováno rovnoměrné rozložení spotřeby mezi obě varianty. Pro druhou až pátou variantu jsou stejnoměrně navýšeny investiční náklady o instalaci a údržbu systému. Také je zde zahrnuto navýšení ceny o nutnost rozvedení tepelných rozvodů a distribučních míst a odvodů případných zplodin. Z důvodů zamýšlené min. životnosti stavby 20 let, jsou v investičních nákladech zahrnuty ceny za údržbu, nebo v případě sálavých panelů jsou adekvátně navýšeny investice o pořízení nových zdrojů vytápění s ohledem na jejich životnost. U systému zapojí tepelného čerpadla je počítáno pouze s 30% potřebou energie na vytápění, ostatní tepelná energie je zajištěna provozem tepelného čerpadla. U tohoto systému neplatí lineární závislost růstu provozních nákladů s větším vytápěným prostorem a větším zatížením může u tepelného čerpadla vést k vyšším provozním úsporám.

Tabulka 15: Investiční a provozní náklady jednotlivých systémů Standardní dům (autor)

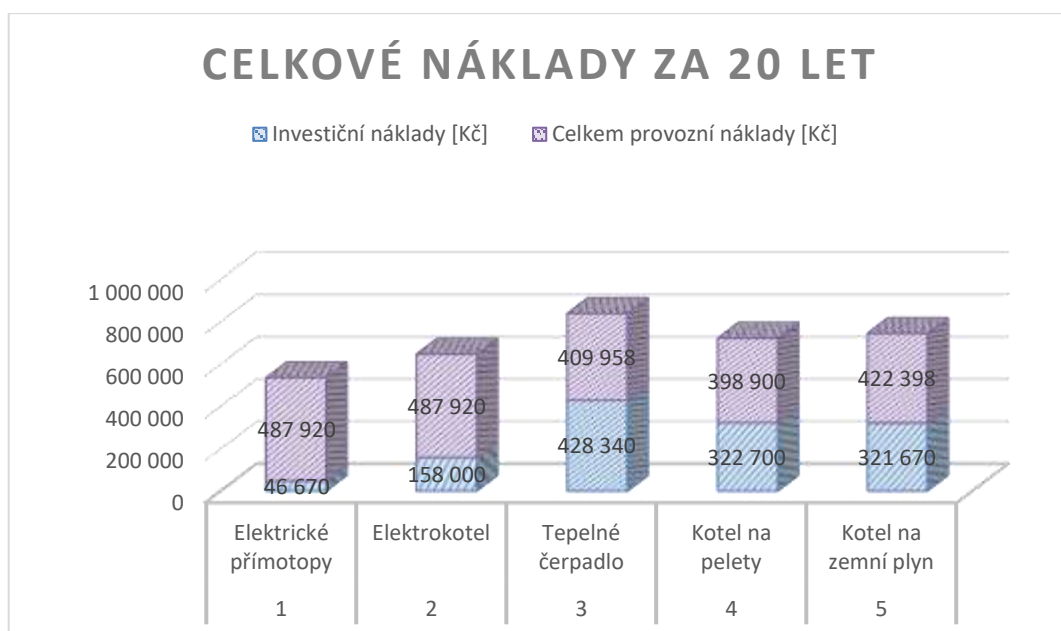
Systém		Investiční náklady [Kč]	Náklady na ÚT+TV [Kč]	Náklady na osvětlení a spotřebiče [Kč]	Celkem provozní náklady [Kč]
1	Elektrické přímotopy	46 670	17 714	6 683	24 396
2	Elektrokotel	158 000	17 714	6 683	24 396
3	Tepelné čerpadlo	428 340	13 815	6 683	20 498
4	Kotel na pelety	322 700	6 731	13 214	19 945
5	Kotel na zemní plyn	321 670	7 906	13 214	21 120

Graf 3 ilustruje celkové roční provozní náklady potřebné k vytápění a na přípravu teplé vody, včetně nákladů spojených s provozem spotřebičů a osvětlení. Z grafu vychází jako provozně nejvíce úsporná varianta využití kotle na pelety díky nízkým tarifním cenám za pelety a malé fixní sazbě za využití elektrické energie, s celkovými provozními ročními náklady 19 945 Kč. Další výhodnou otopnou soustavou je tepelné čerpadlo s provozními náklady 20 498 Kč za rok, a to především díky energetickým úsporám garantujícím zapojení tohoto systému při ohřevu vody a možnosti získání výhodnějšího energetického tarifu na elektrickou energii. Systémy vytápění na elektřinu sice také dosahují na levnější tarify, díky garantované celkové vyšší spotřebě elektřiny tak dochází u těchto systémů k úspoře i v provozních nákladech za osvětlení a spotřebiče. Výhoda kotle na zemní plyn, který je při srovnání ceny za kWh levnější než elektrická energie, se však vytrácí pro nutnost úhrady dvou fixních plateb: nejprve za zemní plyn a poté za elektřinu na spotřebiče a osvětlení.

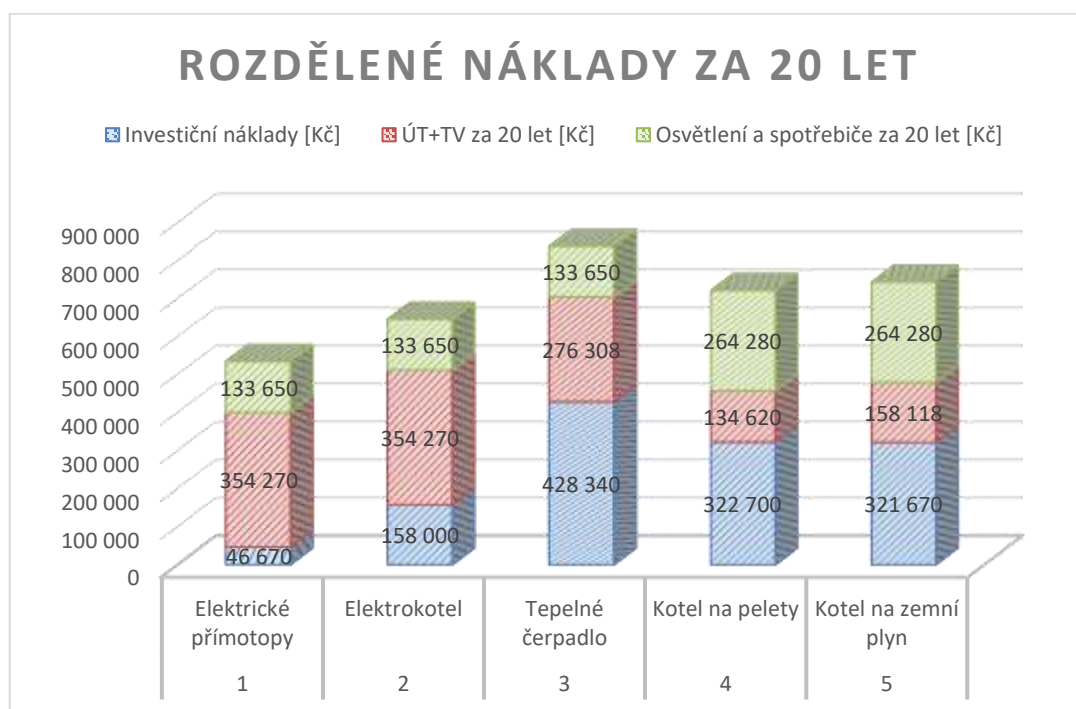


Graf 3: Roční provozní náklady Pasivní dům (autor)

Na následujících grafech (graf 4 a graf 5) jsou zahrnuty navíc investiční náklady na konkrétní systémy. Provozní náklady jsou shrnuty v prostém součtu za 20 let bez uvažovaného nárůstu cen energií. Tímto způsobem zjištěný rozdíl mezi jednotlivými systémy dosahuje 303 708 Kč. Jako nejvýhodnější systém vycházejí elektrické přímotopy, na opačné straně pak stojí tepelné čerpadlo, které je v tomto případě tím nejméně výhodným otopným systémem.



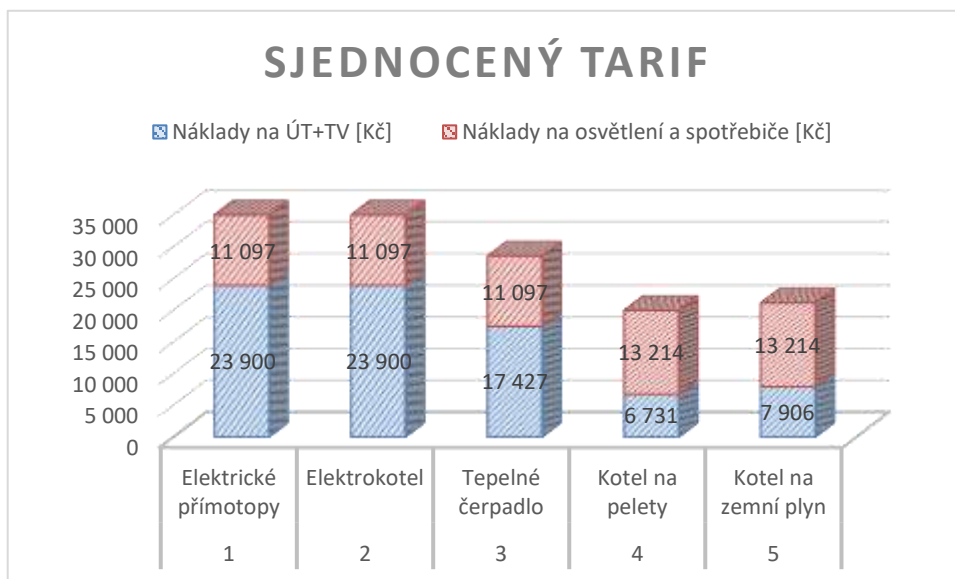
Graf 4: Dlouhodobé porovnání celkových a provozních nákladů Pasivní dům (autor)



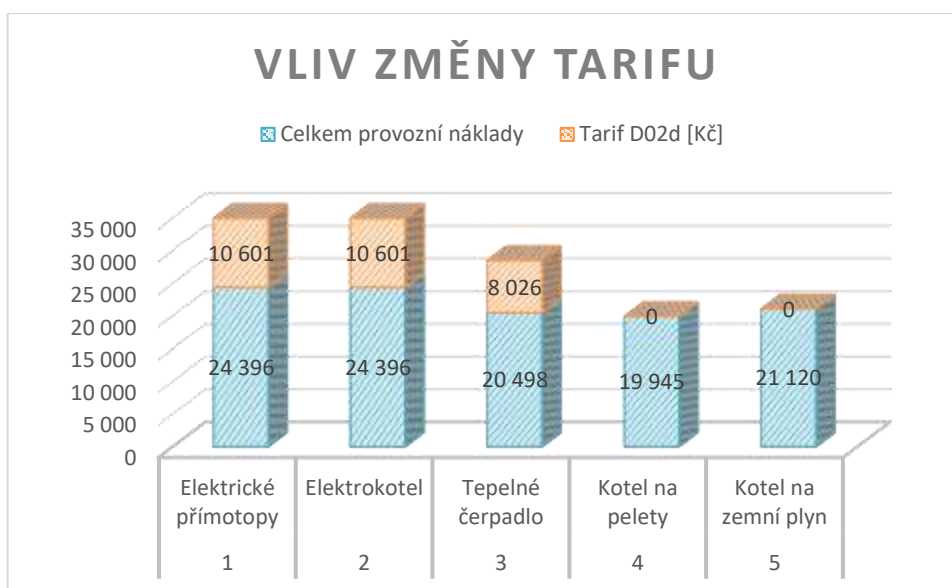
Graf 5: Dlouhodobé rozdělené porovnání celkových nákladů Pasivní dům (autor)

V případě rozpočítání nákladů na elektrické spotřebiče a osvětlení se v celkovém hodnocení za nejekonomičtější systém projevují přímotopné otopné soustavy. Rozdíl mezi jednotlivými systémy způsobují především nízké investiční náklady i možnost využití zvýhodněného tarifu odběru elektrické energie. Obecně je však nastavení těchto tarifů závislé na zvolené strategii poskytovatelů energií a společností zajišťujících její distribuci. Existuje tedy oprávněný předpoklad možného rizika změny cen v těchto tarifech, a to především z

dlouhodobého časového hlediska. Graf 6 simuluje vliv zavedení jednotného tarifu D 02d. Při zrušení současných výhodných tarifů se rozdíl mezi zdroji na elektrické energie a zdroji na ostatní paliva markantně zvýší v neprospěch zdrojů na elektrickou energii.



Graf 6: Jednotný přechod na tarif D02d (autor)



Graf 7: Nárůst provozních nákladů při jednotném tarifu (autor)

Zavedením jednotného tarifu dojde k razantnímu nárůstu měsíčních nákladů za provoz systémů založených na ohřevu pouze elektrickou energií. Tato skutečnost by však neměla vliv na provozní náklady v případě využití kotle na pelety či zemní plyn, které s nejdražší sazbou kalkulují vždy. Je však potřeba také zvážit možnost zdražování i těchto zdrojů energií.

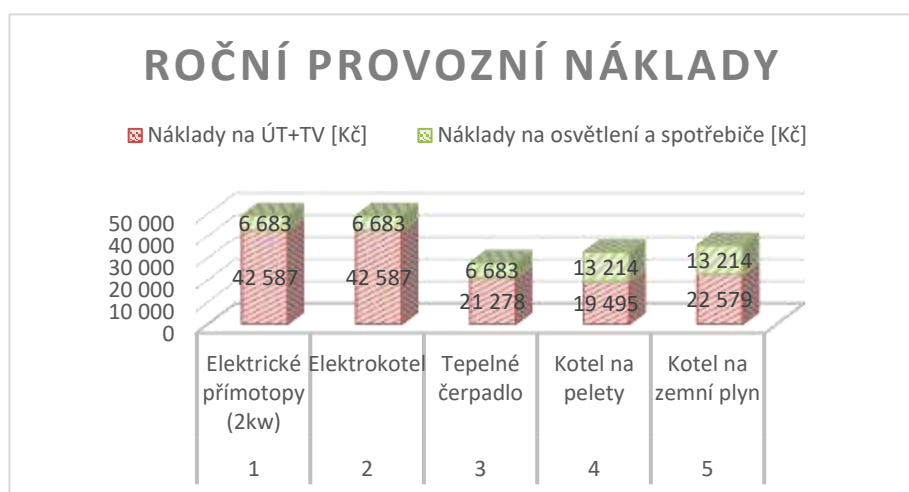
4.3.2 Běžná výstavba

Investiční a provozní náklady pro jednotlivé způsoby vytápění u standardního domu jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16: Investiční a provozní náklady jednotlivých systémů Pasivní dům (autor)

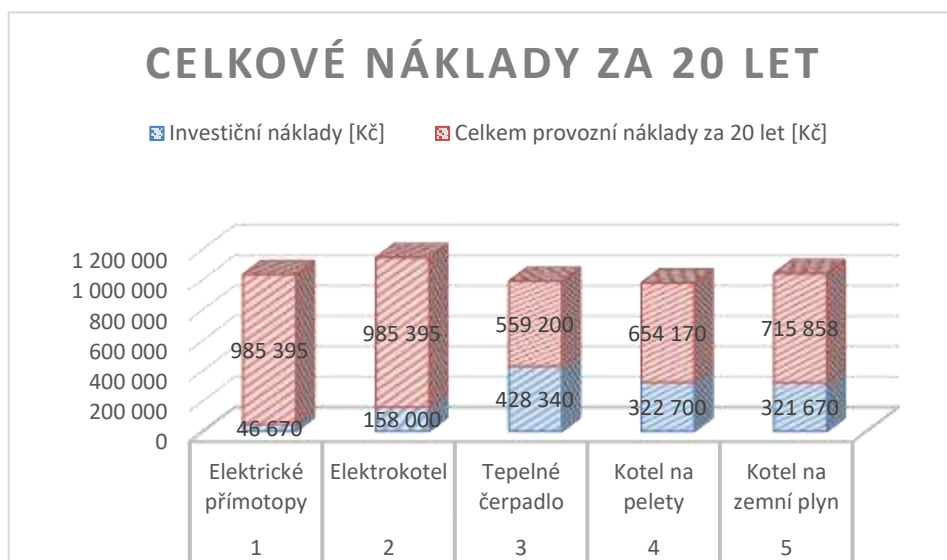
Systém		Investiční náklady [Kč]	Náklady na ÚT+TV [Kč]	Náklady na osvětlení a spotřebiče [Kč]	Celkem provozní náklady [Kč]
1	Elektrické přímotopy	46 670	42 587	6 683	49 270
2	Elektrokotel	158000	42 587	6 683	49 270
3	Tepelné čerpadlo	428 340	21 278	6 683	27 960
4	Kotel na pelety	322 700	19 495	13 214	32 709
5	Kotel na zemní plyn	321 670	22 579	13 214	35 793

Stejně jako v případě pasivní stavby je výše nákladů na osvětlení a domácí spotřebiče v konkrétních alternativách odlišná s ohledem na možnost využití odlišných tarifů elektrické energie. U zdroje tepelného vytápění na elektrickou energii (1. až 3. varianta) je příslušný zvýhodněný tarif (tarif D 45d) uplatňován i na spotřebu elektřiny na osvětlení a pomocné energie. Pro stanovení investičních a provozních nákladů se vychází z výkonu potřebného pro vytopení 150 m² užitné plochy a 2,6m výšky. Při využití tarifů je uvažováno rovnoměrné rozložení spotřeby mezi obě varianty. Pro druhou až pátou variantu jsou stejnoměrně navýšeny investiční náklady o instalaci a údržbu systému. V navýšení ceny jsou zde zahrnuty také náklady spojené s nutností zřízení tepelných rozvodů a distribučních míst a odvodů případných zplodin. Z důvodů zamýšlené minimální životnosti stavby 20 let jsou v investičních nákladech zahrnuty také ceny za údržbu anebo v případě sálavých panelů jsou adekvátně navýšeny investice nutné k pořízení nových zdrojů vytápění s ohledem na jejich životnost. U systému zapojení tepelného čerpadla je počítáno pouze s 30 % potřebou energie na vytápění, ostatní tepelná energie je zajištěna provozem tepelného čerpadla.



Graf 8: Roční provozní náklady Standardní dům (autor)

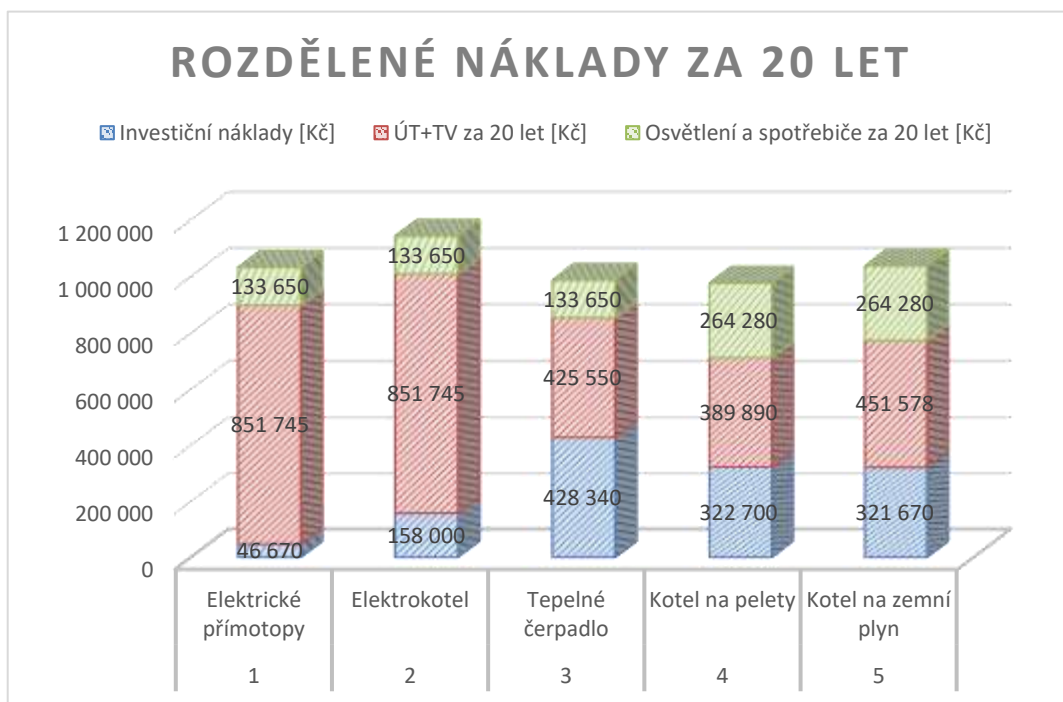
Výsledné zjištění provozních nákladů u běžné novostavby neodpovídá závěrům zjištěným u staveb s dosaženým pasivním standardem. Z graf 8 je patrná značná difference mezi ročními provozními náklady u zvolených variant u běžné novostavby. Na první, provozně nejekonomičtější místo se dostává tepelné čerpadlo s náklady 27 960 Kč za rok. Naopak mezi ty nejdražší provozní systémy patří vytápění pomocí elektrokotle a přímotopů, které jsou téměř dvojnásobně nákladné. Náklady spojené s vytápěním a přípravou teplé vody tak tvoří - na rozdíl od pasivního domu - majoritní část celkových provozních nákladů.



Graf 9: Srovnání celkových nákladů Standardní dům (autor)

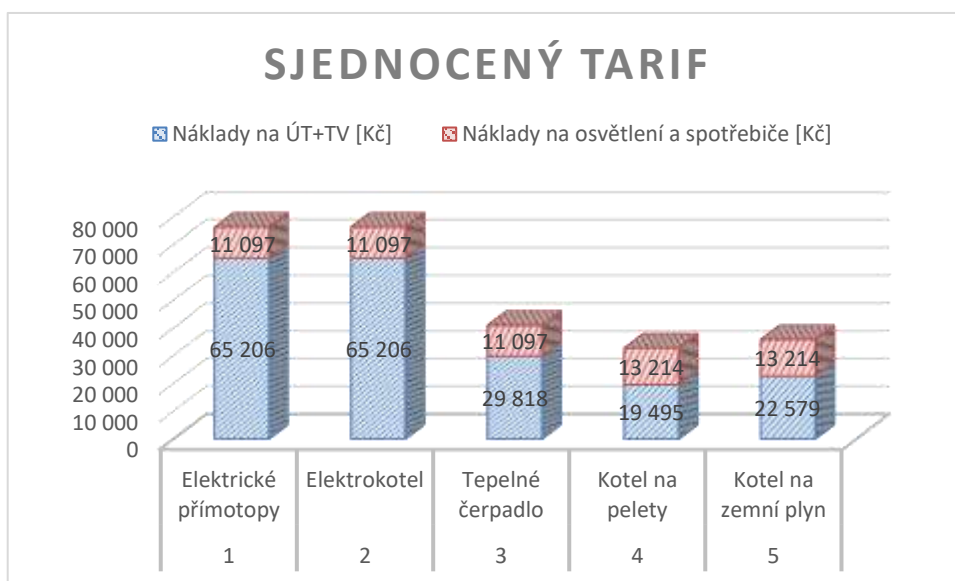
V přilehlých grafech (graf 9 a graf 10) jsou zahrnuty navíc i investiční náklady na jednotlivé systémy tak, aby bylo možno zhodnotit tyto náklady v porovnání s provozními náklady v prostém součtu za 20 let bez uvažovaného nárůstu cen energií. Tímto způsobem zjištěný rozdíl mezi nejlevnějším a nejdražším systémem dosahuje 166 525Kč.

Jako nejvýhodnější systém vychází kotel na pelety, naopak nejdražším porovnávaným systémem se stává elektrokotel.



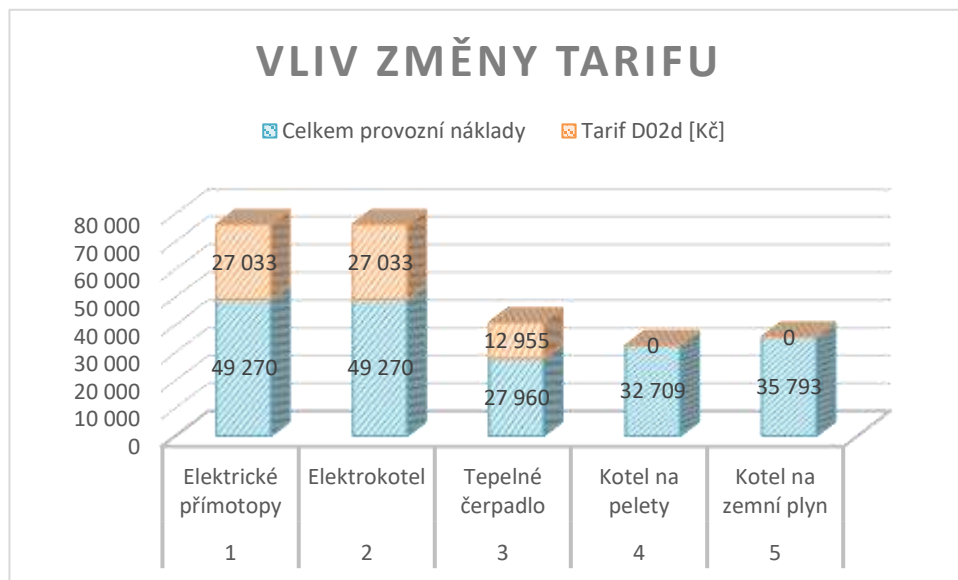
Graf 10: Zastoupení nákladů Standardní dům (autor)

Graf 11 ukazuje vliv zavedení jednotného tarifu D 02d dle současného ceníku elektrických energií. Při zrušení současných výhodných tarifů se rozdíl mezi tepelnými zdroji na elektrické energie a zdroji na ostatní paliva markantně zvýší v neprospěch zdrojů na elektrickou energii.



Graf 11: Roční náklady při změně na tarif D02d Standardní dům (autor)

Graf 12 ukazuje na markantní roční nárůst provozních nákladů při přechodu na jednotný tarif D02d. Za takových podmínek by provozně nejvýhodnějším systémem byl kotel na pelety.



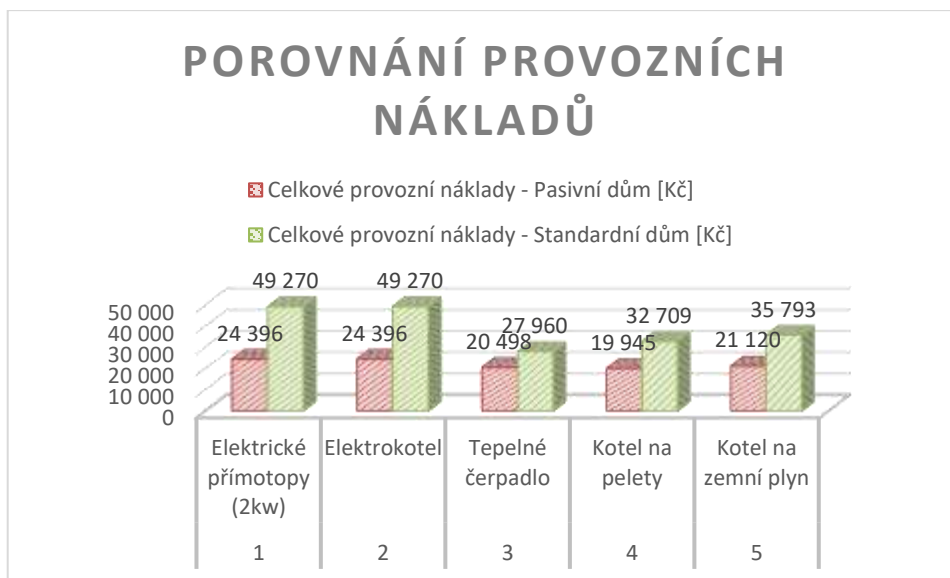
Graf 12: Nárůst provozních nákladů při jednotném tarifu Standardní dům (autor)

4.3.3 Srovnání u pasivní a standardní výstavby

Tento oddíl se zabývá srovnáním provozu pasivního domu s běžnou výstavbou. Následující tabulka (tabulka 17) shrnuje investiční náklady a celkové roční provozní náklady pasivního a standardního objektu za předpokladu provozu uvedených otopných systémů. V tomto srovnání nejsou uvažovány zvýšené investiční náklady u pasivní výstavby jako např. vícenáklady spojené se zapojením systému řízeného větrání se zpětným získáváním tepla. V dalších kapitolách bude totiž uvažováno s celkovým nárůstem investic při stavbě nemovitosti, a to v různých cenových hladinách tak, aby bylo dosaženo standardu pasivního domu. Započítáním pouze jednoho článku do výpočtu by vedlo ke zkreslení dat. Naopak u druhé až páté otopné variantě jsou investiční náklady adekvátně navýšeny o rozvodné řetězce a instalace tepelných těles.

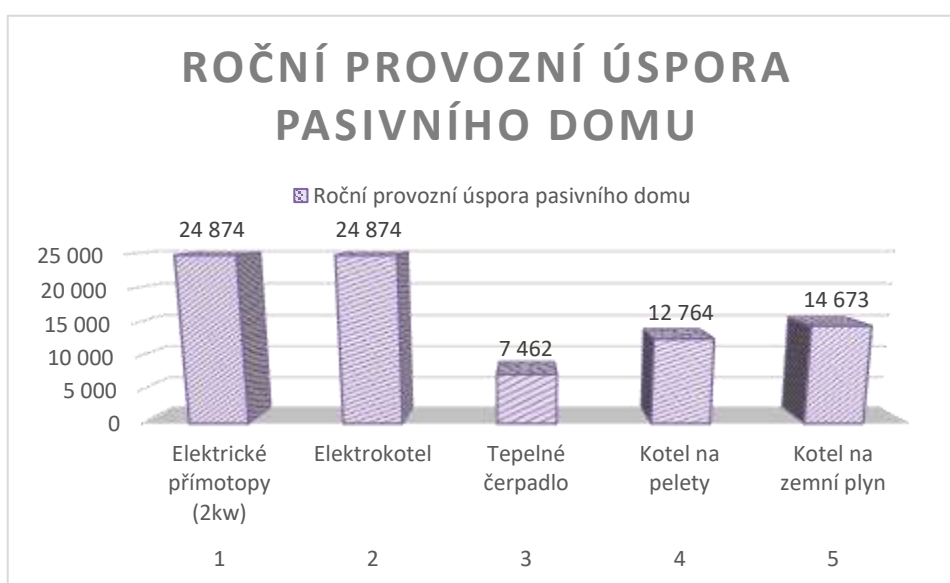
Tabulka 17: Porovnání provozních nákladů obou variant (autor)

Systém		Investiční náklady [Kč]	Celkové provozní náklady - Pasivní dům [Kč/rok]	Celkové provozní náklady - Standardní dům [Kč/rok]
1	Elektrické přímotopy (2kw)	46 670	24 396	49 270
2	Elektrokotel	158 000	24 396	49 270
3	Tepelné čerpadlo	428 340	20 498	27 960
4	Kotel na pelety	322 700	19 945	32 709
5	Kotel na zemní plyn	321 670	21 120	35 793



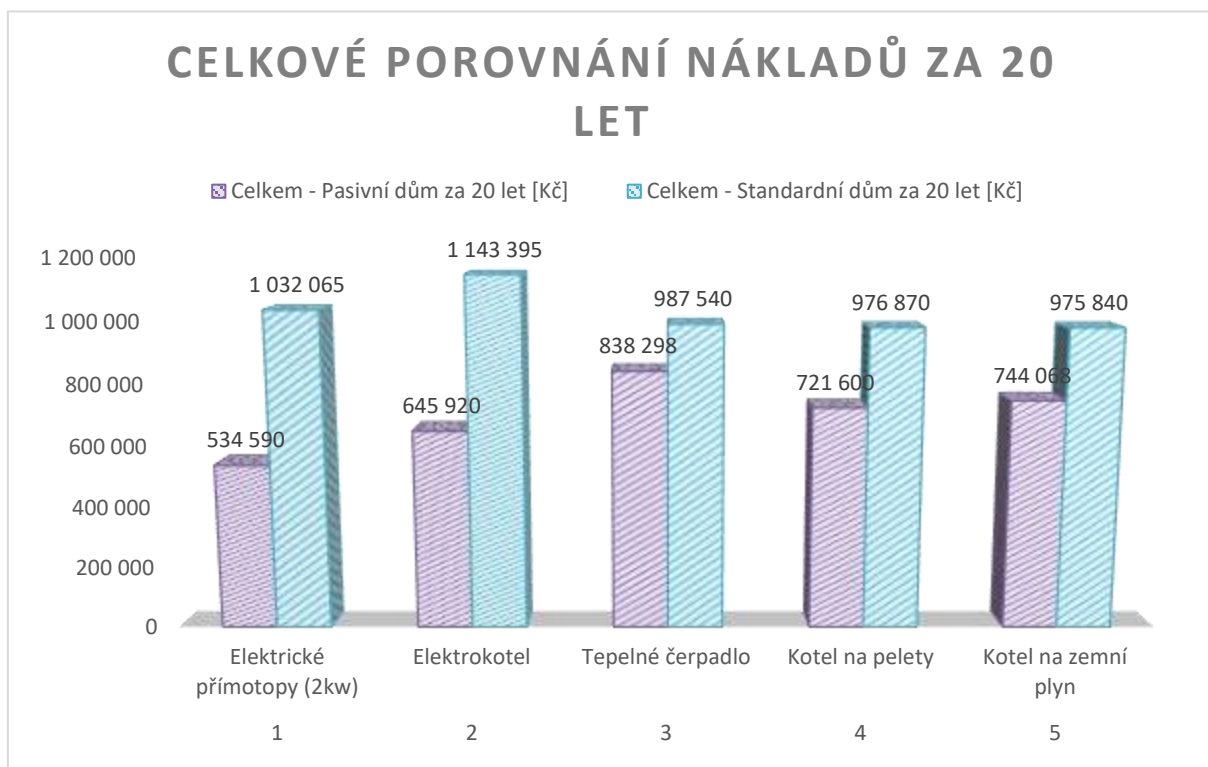
Graf 13: Porovnání ročních provozních nákladů standardního a pasivního domu (autor)

Jak již bylo uvedeno výše, vytápění a příprava teplé vody tvoří vyšší podíl provozních nákladů u standardní stavby než u pasivních domů. To vede k úvaze, že při nárůstu ceny energií budou, jak již trend v současnosti ukazuje, tyto objekty optimalizovány s ohledem na spotřebu energií potřebných k vytápění objektu. U stávajících staveb to může představovat dodatečné zateplení, výměny okenních prvků apod. Nicméně tyto dodatečné úpravy si vyžádají vyšší náklady a s nižším celkovým efektem než v případě realizace těchto opatření již během samotné výstavby novostavby. Nejvyšších ročních úspor na provozních nákladech dosahují díky těmto opatřením otopné systémy využívající elektrické energie. Cena za tuto komoditu je nejvyšší a celkovým snížením nároků na vytápění dochází k největší regulaci, jak ukazuje následující graf 14.



Graf 14: Dosažená roční úspora u pasivního domu (autor)

V následujícím grafu (graf 15) jsou porovnány celkové náklady za dobu 20 let provozu pasivního a standardního domu v případě shodných systémů. Rozdíl výsledných hodnot pramení z odlišnosti provozních nákladů otopných systémů. Zvýšení samotných investičních nákladů při výstavbě pro dosažení pasivního standardu, který uvedených úspor dosahuje, je zahrnuto jednotně do výpočtu hypotečních splátek, se kterými je počítáno dále, a to i pro odlišné cenové varianty.



Graf 15: Porovnání nákladů na vytápění Pasivního a Standardního domu v 20 letém časovém horizontu (autor)

Pro další modelové hodnocení byly stanoveny odlišné roční nárůsty cen za veškeré energie 0 %, 3 %, 6 % a 9 %. Zjištěná úspora plynoucí ze snížení provozních nákladů je dána snížením energetické náročnosti pasivního objektu (jeho stavebním provedením). Obecně se předpokládá životnost objektu na více než 20 let, pro další zhodnocení byla proto také uvažována odlišnost hypotečních úvěrů, resp. časového horizontu, na který je hypotéka poskytnuta. I v takovém případě je však maximální doba splacení stanovena na 30 let, kterou by však životnost objektu měla v každém případě přesáhnout, ale nejsou vyloučeny dodatečné náklady spojené s údržbou a zajištěním provozuschopnosti. Reinvestice do jednotlivých otopných soustav se mohou v uvedeném časovém období měnit, uvažované hodnoty na údržbu a udržitelnost jejich provozuschopnosti jsou pouze orientační a v praxi se liší dle aktuální poruchovosti systému. V tomto případě není započítán vliv zhoršujících se fyzikálních

vlastností stavebních materiálů. To však může ovlivnit vlastní potřebu tepla na vytápění objektu.

Tabulka 18: Pasivní dům celkové náklady (autor)

Pasivní dům - Celkem náklady investice + provoz za 20 let					
Systém		Celkové náklady - Pasivní dům [Kč]	3% růst cen energií - Pasivní dům [Kč]	6% růst cen energií - Pasivní dům [Kč]	9% růst cen energií - Pasivní dům [Kč]
1	Elektrické přímotopy (2kw)	534 590 Kč	902 241 Kč	1 522 921 Kč	2 555 389 Kč
2	Elektrokotel	645 920 Kč	1 013 571 Kč	1 634 251 Kč	2 666 719 Kč
3	Tepelné čerpadlo	838 298 Kč	1 147 203 Kč	1 668 707 Kč	2 536 203 Kč
4	Kotel na pelety	721 600 Kč	1 022 174 Kč	1 529 612 Kč	2 373 709 Kč
5	Kotel na zemní plyn	744 068 Kč	1 062 347 Kč	1 599 677 Kč	2 493 497 Kč

Tabulka 19: Standardní dům celkové náklady (autor)

Standard - Celkem náklady investice + provoz za 20 let					
Systém		Celkové náklady - Standardní dům [Kč]	3% růst cen energií - Standardní dům [Kč]	6% růst cen energií - Standardní dům [Kč]	9% růst cen energií - Standardní dům [Kč]
1	Elektrické přímotopy (2kw)	1 032 065 Kč	1 774 566 Kč	3 028 081 Kč	5 113 237 Kč
2	Elektrokotel	1 143 395 Kč	1 885 896 Kč	3 139 411 Kč	5 224 567 Kč
3	Tepelné čerpadlo	987 540 Kč	1 408 901 Kč	2 120 255 Kč	3 303 557 Kč
4	Kotel na pelety	976 870 Kč	1 469 791 Kč	2 301 956 Kč	3 686 221 Kč
5	Kotel na zemní plyn	1 037 528 Kč	1 576 931 Kč	2 487 570 Kč	4 002 369 Kč

Tabulka 20 uvádí celkovou úsporu, které by mělo být dosaženo u pasivního domu za 20 let provozu. Jedná se o srovnání nejekonomičtějšího způsobu vytápění u pasivního i standardního domu, za předpokladu stanoveného růstu cen energií.

Tabulka 20: Porovnání nejvýhodnějších systémů (autor)

Varianta	Systém Pasivního domu	Systém Standardního domu	Růst energií	Celková úspora Pasivního domu [Kč]	Průměrná roční úspora Pasivního domu [Kč]
1	Elektrické přímotopy (2kw)	Kotel na pelety	Bez růstu energií za 20 let	442 280 Kč	22 114 Kč
2	Elektrické přímotopy (2kw)	Tepelné čerpadlo	3% růst cen energií za 20 let	506 660 Kč	25 333 Kč
3	Elektrické přímotopy (2kw)	Tepelné čerpadlo	6% růst cen energií za 20 let	597 335 Kč	29 867 Kč
4	Kotel na pelety	Tepelné čerpadlo	9% růst cen energií za 20 let	929 848 Kč	46 492 Kč

Celkové úspory provozních nákladů, zajištěné redukcí energetické náročnosti a konkrétní volbou otopného systému, se tak mohou stát i částkou, kterou lze interpretovat jako motivaci investora k pokrytí vícenákladů za pasivní dům. Je však potřeba poukázat na fakt, že ne všechny vícenáklady souvisejí s energetickými opatřeními. Přehřívání domu, kterému pasivní standard také zabráňuje, nemá na energetickou náročnost žádný vliv (pokud nepočítáme s nutností klimatizace daného objektu), ale souvisí především s kvalitou a komfortem života v domě. Z hlediska budoucího vývoje cen energie a adekvátních plateb za ni, je jedinou spolehlivou cestou množství spotřebované energie redukovat. Tímto směrem se právě investor pasivního domu vydává.

4.4 NÁVRATNOST INVESTIC

Ekonomickou efektivnost investice posuzujeme jako dosažené příjmy vůči výdajům spojených s realizací a provozem zamýšlené investice. Metrikou jsou peněžní částky bez ohledu na další přidané hodnoty, jako je estetičnost, ekologičnost apod. Pro výpočet návratnosti investice u výstavby rodinného domu lze posuzovat prostou dobu návratnosti, tedy dobu, za kterou se investorovi peněžní výdaje spjaté s výstavbou splatí. Zjednodušený model výpočtu nezahrnuje růst ceny energií a možnost zhodnocení investice jiným způsobem. Pro účely práce bude výpočet rozšířen i o možnost variabilního vývoje cen energií. Jiný způsob zhodnocení vložených finančních prostředků bude zanedbán z důvodu záměru investice do výstavby nového rodinného domu.

Pro zjednodušený výpočet doby návratnosti T_N jsou vstupní údaje následující:

- celkové výdaje spojené s investicí I_N
- předpokládaná životnost stavby
- náklady provozu N_p [Kč/rok]
- dosažená úspora energií V [Kč/rok]

$$T_N = \frac{I_N}{(V - N_p)} \text{ [Kč]}$$

Díky prosté analýze výsledků s předpokládanou dobou životnosti stavby získáme jednoduchý přehled o možné návratnosti investice. Prostá doba návratnosti čistě z ekonomického hlediska nemá dosahovat vyšších hodnot, než samotná doba životnosti. Do výpočtů budou rovněž zahrnuty různé hladiny cen energií, které simulují různý vývoj cen na trhu s energiemi.

Metoda výpočtu prosté návratnosti nezohledňuje dostatečně faktor času a znevýhodňuje tak investice do dlouhodobých opatření. Metoda celkových ekvivalentních ročních nákladů naopak tento faktor zahrnuje, a to v podobě budoucího růstu cen energií a životnosti opatření. Pro účely této práce byla zvolena metoda celkových ekvivalentních ročních nákladů a jsou zde zahrnuty možné varianty růstu cen energií. Tento růst je předpokládán lineární a stejný pro všechny typy energií, resp. komodit k zajištění funkčnosti ohrevných systémů. Aspekt životnosti byl zohledněn zvýšením investičních nákladů jednotlivých otopných systémů.

5 NÁKLADNOST PASIVNÍCH DOMŮ

Argumenty proti výstavbě pasivních domů jsou nejčastěji spojeny s vysokými náklady na jejich pořízení. S růstem regulací pro výstavbu i běžného domu a se stále se rozšiřujícím tržním segmentem zajišťujícím vybudování pasivního bydlení je však otázkou, zda je tento argument i nadále obhajitelný.

Často se lze setkat s názorem, že pasivní domy představují pěkný, ale zato v počátku velmi nákladný způsob realizace bydlení. V různých studiích lze nalézt odlišné výsledky předpokládaných dodatečných nákladů při realizaci pasivního standardu oproti klasické stavbě. Zatímco někdy se odhady pohybují až do rozpětí 25 % navýšení nákladů, existují i studie, které předpokládají téměř nulové navýšení. (22)

Nákladový rozdíl se však postupně začíná snižovat s rostoucím množstvím průkopníků v oblasti budování pasivních domů a rostoucí konkurencí. Tento trend je především patrný v oblasti lépe izolovaných oken, u kterých se možnosti provedení rozšiřují a dosahují již téměř 50 % podílu celkové poptávky na současném trhu.

Obecně nelze stanovit a přesně vyčíslit, o kolik je výstavba pasivního domu nákladnější oproti běžnému standardu, vždy záleží na konkrétních podmínkách a srovnávaných objektech. Z realizovaných projektů však vyplývá, že počáteční náklady pasivní výstavby jsou vyšší především ve dvou aspektech:

- zařízení a materiál (tepelná rekuperace,...),
- zvýšené náklady za konstrukční provedení (dveře, okna,...).

Na opačné straně rovnice, která tyto zvýšené počáteční náklady má vyrovnávat, stojí především menší provozní náklady na systém vytápění, u kterých se úspory mohou pohybovat až k hladině 90 %. (23)

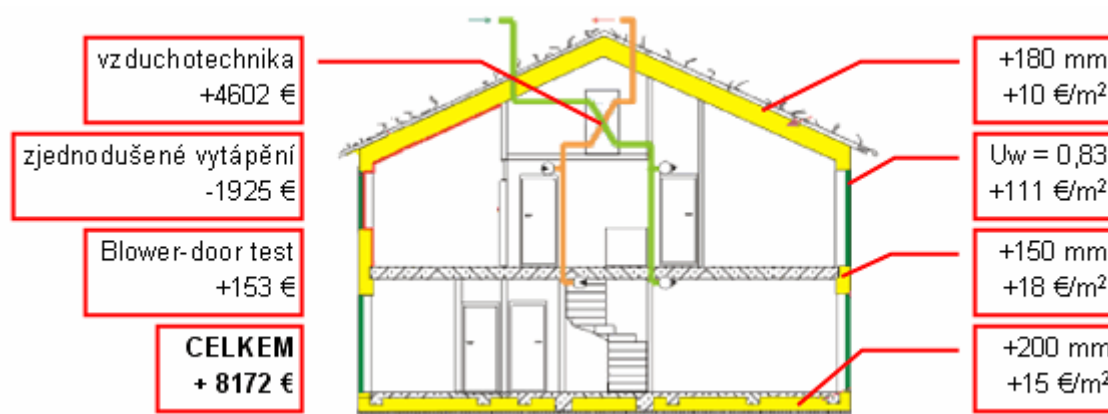
6 MODELOVÝ PŘÍKLAD

V oblasti Kronsberg, nedaleko města Hannover v Německu, byla provedena ekonomická analýza investice do zlepšení konstrukčních a stavebních prvků nemovitosti. Pro účely komparace byl zvolen reprezentativní pasivní a fiktivní dům stejných dimenzí, který odpovídal svými tepelně technickými vlastnostmi německým stavebním regulím z roku 1995.

K dosažení standardu pasivního domu bylo potřeba provést mnohé konstrukční úpravy. Bylo například instalováno:

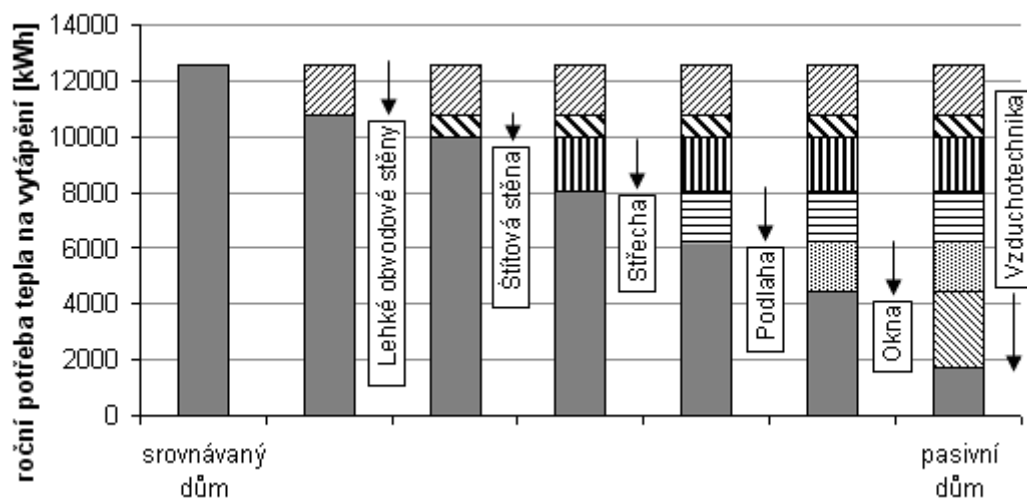
- tepelná izolace obvodových stěn,
- lepší střešní konstrukce s ohledem na tepelné prostupy,
- zlepšení tepelné izolace podlah nad terénem,
- okna s trojskly,
- další.

Náklady na teplovodní vytápění byly díky konstrukčním řešením, a tím menší potřebě výkonu redukovány z 2828,27 EUR na 903,58 EUR. Úspora na vytápění činila 1924,69 EUR.

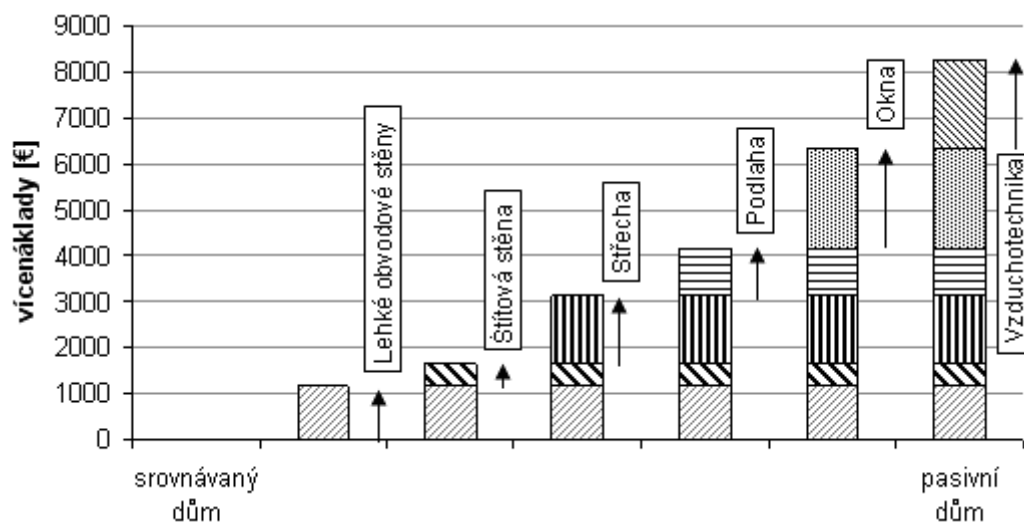


Obrázek 20: Technická provedení a změna nákladů (24)

Díky provedeným konstrukčním změnám bylo dosaženo snížení potřeby energie na samotné vytápění více než o 80 %. Celkové náklady na výstavbu přitom vzrostly o 9,1 % z 89 803 EUR.



Obrázek 21: Snížení energetické spotřeby (24)

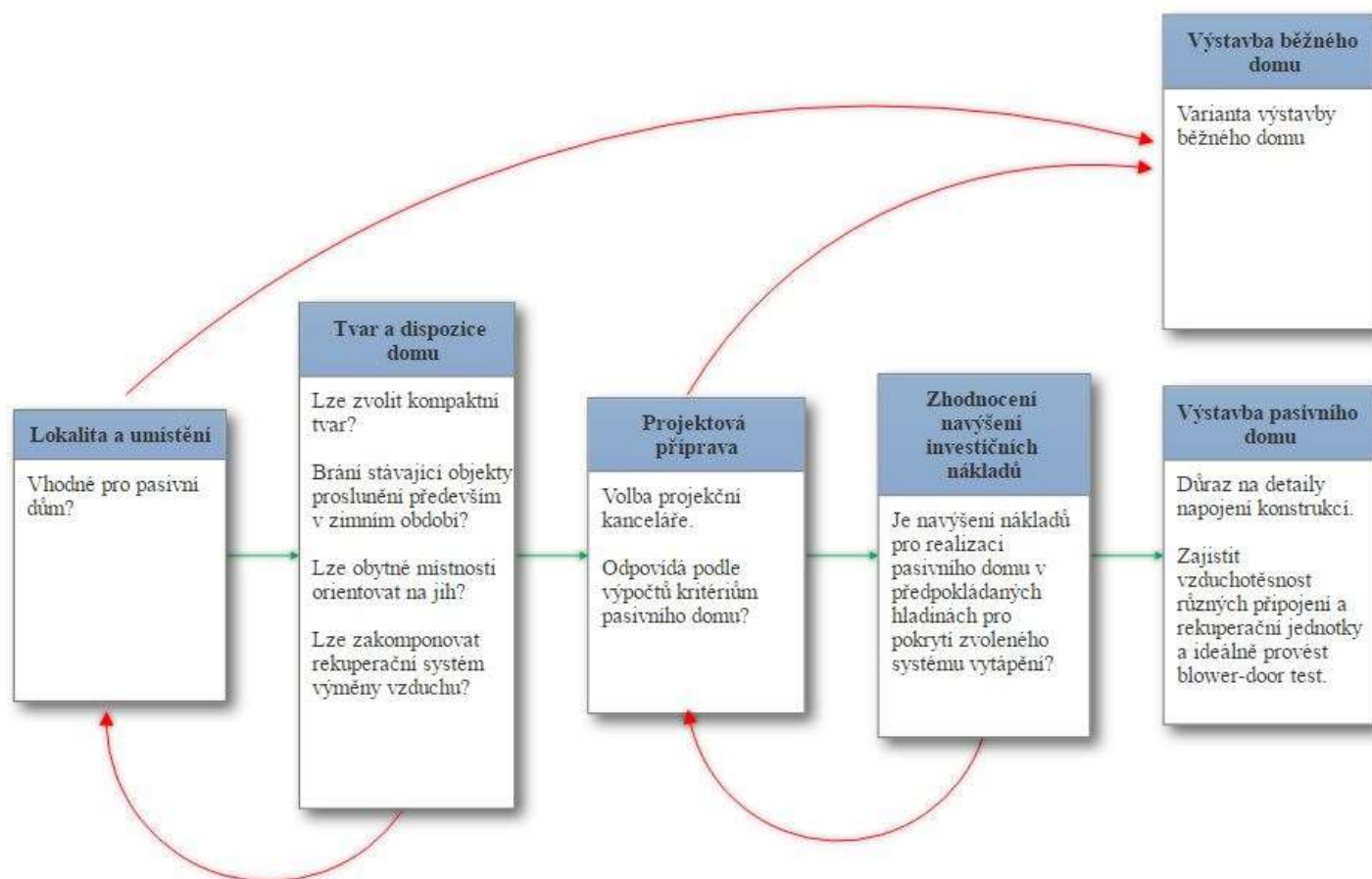


Obrázek 22: Dodatečné náklady na dosažení pasivního standardu (24)

Výzkum poukázal na fakt, že významný podíl vícenákladů tvoří náklady za provedení vysoce kvalitních oken a nuceného větrání. Jak vzduchotechnika, tak provedení oken jsou však neustále inovovány, konstrukčně vylepšovány a zdokonalovány. Lze tak předpokládat klesání tržních cen za konstrukce stejných vlastností, které i tak v celku dosahují pasivního standardu. S rostoucím trhem nejen tepelně kvalitnějších konkurencí se také bude zvyšovat výroba a dostupnost na trhu a adekvátně bude dále docházet ke snižování cen těchto produktů. (25)

7 ROZHODOVACÍ SCHÉMA

Pro usnadnění volby daného typu rodinného domu bylo vytvořeno rozhodovací schéma, které může sloužit jako určitý zjednodušený návod, zda investor chce, může a zda je pro něj vůbec vhodné zvažovat investici do pasivního rodinného domu.



Obrázek 23: Rozhodovací schéma při volbě novostavby (autor)

Detailnější rozbor konkrétních problematik je v práci uveden dle následujících odkazů v textu:

- Lokalita a umístění – viz orientace a lokalita strana 18.
- Tvar a dispozice – viz vnitřní dispoziční řešení strana 18.
- Projekt – viz konstrukční řešení od strany 20, pasivní dům strana 17.
- Zhodnocení – viz model od strany 66.
- Zaměření na detaily – viz tepelné mosty strana 41.

8 MODEL

Pro výpočet návratnosti budeme uvažovat modelové domy. Jeden „standardní“ rodinný dům splňující požadavky současných norem, druhý splňující požadavky na pasivní dům. Pro modelový příklad je zvolen jednopodlažní dům, obdélníkového půdorysu o užité ploše 150 m².



Obrázek 24: Model pasivního domu (26)

1. Standardní dům

- Způsob vytápění: varianty viz tabulka 22.
- Měrná potřeba tepla na vytápění: 82 kWh/m²rok.
- Potřeba tepla na vytápění za rok: 13860 kWh/rok.

2. Pasivní dům

- Způsob vytápění: varianty viz tabulka 22.
- Měrná potřeba tepla na vytápění: 15 kWh/m²rok.
- Potřeba tepla na vytápění za rok: 2200 kWh/m²rok.
- Vícenáklady na stavbu pasivního domu (trojskla u oken, tepelné izolace, rekuperační jednotka, zastínění, apod.): 5-20% navýšení ceny stavby.

8.1 FINANCOVÁNÍ

Především pro účely posouzení výhodnosti investic je potřeba stanovit způsob financování stavebního záměru, resp. metriku umožňující porovnání vývoje v čase. Pro záměr této modelové situace byl zvolen způsob financování stavby rodinného domu pomocí hypotéky, při konstantní úrokové sazbě. Doba, po kterou je hypotéka placena, tak představuje

ekonomickou životnost stavby. Výpočty jsou stanoveny pro 150 m² zastavěné plochy, cena realizace standardní novostavby se pohybuje cca kolem 25 000 Kč/m².

Roční náklady spojené se splátkou hypotéky a provozními náklady na vytápění jsou stanoveny na základě následujících podmínek:

- hypoteční úvěr na 100 % investičních nákladů,
- doba hypotečního úvěru 20, 25 a 30 let,
- růst ceny energie,
- nejsou zahrnuty daňové úspory ani dotace,
- jsou také opomenuty ekonomicky špatně měřitelné výhody (kvalita bydlení, komfort...).

Snížení výše roční hypoteční splátky je kompenzováno prodloužením časového horizontu, na který je splátka poskytnuta a adekvátním přepacením půjčené částky na úrocích bankovním společenstvem.

Tabulka 21: Srovnání splátek hypotéky na plnou cenu stavby (autor)

Varianta	Provedení stavby	Celkový náklad [Kč]	Roční splátka (celkem na 20 let) [Kč/rok]	Roční splátka (celkem na 25 let) [Kč/rok]	Roční splátka (celkem na 30 let) [Kč/rok]
0	Standardní novostavba	3 750 000	253 970,40	217 963,20 č	194 460,00
1	Pasivní dům (vícenáklady 5%)	3 937 500	266 647,20	228 849,60	204 163,20
2	Pasivní dům (vícenáklady 10%)	4 125 000	279 304,80	239 726,40	213 868,80
3	Pasivní dům (vícenáklady 15%)	4 312 500	292 008,00	250 605,60	223 572,00
4	Pasivní dům (vícenáklady 20%)	4 500 000	304 689,60	261 484,80	233 280,00

8.2 PROVOZNÍ NÁKLADY

V této kapitole jsou porovnány a zhodnoceny různé varianty vytápění a jsou stanoveny přibližné výše finančních nákladů, resp. úspor za konkrétní časové období. Komparace jednotlivých otopných soustav u obou variant novostavby rodinného domu byla uvedena výše. V této kapitole však budou porovnány nejekonomičtější zjištěné otopné varianty pro daný typ nemovitosti s ohledem na časový aspekt hypotečního úvěru. Tímto způsobem by mělo být

možné posoudit, zda úspora pokryje dodatečné vícenáklady, případně ve které zamýšlené variantě tato skutečnost nastane.

Tabulka 22: Srovnání ekonomicky nejvýhodnějších otopných systémů (autor)

Varianta	Systém Pasivního domu	Systém Standardního domu	Růst energií	Celková úspora Pasivního domu [Kč]	Průměrná roční úspora Pasivního domu [Kč]
1	Elektrické přímotopy (2kw)	Kotel na pelety	Bez růstu energií za 20 let	442 280 Kč	22 114 Kč
2	Elektrické přímotopy (2kw)	Tepelné čerpadlo	3% růst cen energií za 20 let	506 660 Kč	25 333 Kč
3	Elektrické přímotopy (2kw)	Tepelné čerpadlo	6% růst cen energií za 20 let	597 335 Kč	29 867 Kč
4	Kotel na pelety	Tepelné čerpadlo	9% růst cen energií za 20 let	929 848 Kč	46 492 Kč

8.3 SROVNÁNÍ

Tabulka 23 shrnuje vypočtené úspory provozu pasivního domu plynoucí z porovnání nejeekonomičtějších možností pro obě varianty typu rodinného domu. Předpokladem lineárního navyšování cen energií se úspora plynoucí z provozu pasivního domu nemění a je možné ji porovnat s jednotlivými variantami uvažovaných hypotečních splátek.

Tabulka 23: Srovnání provozní úspory s navýšením roční hypoteční splátky (autor)

Průměrná roční úspora s ohledem na růst energií			Navýšená průměrná roční splátka			
Var.	Růst energií	Průměrná roční úspora Pasivního domu [Kč]	Provedení stavby	Splátky za 20 let [Kč]	Splátky za 25 let [Kč]	Splátky za 30 let [Kč]
1	Bez růstu energií	22 114 Kč	Vícenáklady 5%	12 677 Kč	10 886 Kč	9 703 Kč
2	3% růst cen energií	25 333 Kč	Vícenáklady 10%	25 334 Kč	21 763 Kč	19 409 Kč
3	6% růst cen energií	29 867 Kč	Vícenáklady 15%	38 038 Kč	32 642 Kč	29 112 Kč
4	9% růst cen energií	46 492 Kč	Vícenáklady 20%	50 719 Kč	43 522 Kč	38 820 Kč

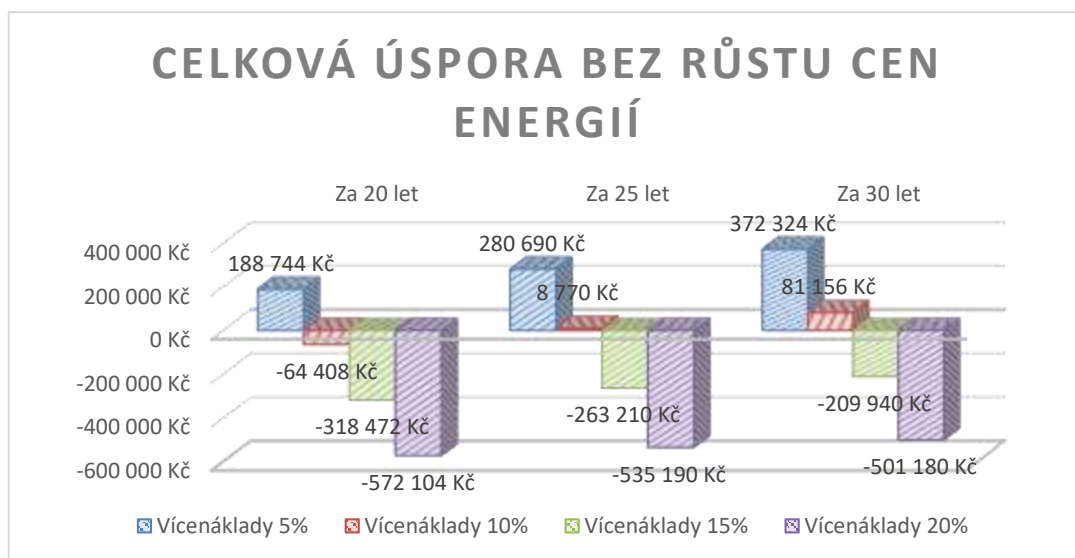
Z tohoto srovnání vyplývají následující poznatky. Za podmínky nulového růstu cen energií v celém časovém horizontu splácení hypotečního úvěru, se zvýšená investice do pasivního domu nezaplatí v žádné z uvažovaných časových variant. Z racionálního hlediska však předpoklad nulového růstu cen v časovém horizontu 20 až 30 let je přinejmenším nepravděpodobný. Jestliže zahrneme do výpočtu i předpoklad růstu cen energií alespoň o 3 % za rok, situace se změní. Tento rovnoměrný růst cen energií by na úsporách provozu pasivního domu pokryl vícenáklady za pasivní dům až do 10% navýšení ceny pasivního domu oproti běžnému provedení (téměř pro všechny splátkové varianty). Pokud by však související vícenáklady byly za pasivní standard vyšší, tento růst cen energií by k pokrytí vícenákladů nestačil ani v případě nejdelšího uvažovaného hypotečního úvěru na 30 let. Při růstu cen energií o 6 % a více by roční úspora z pasivního domu postačila k financování i 15% navýšení vícenákladů, avšak pouze v horizontu splátek na 30 let. V případě vyššího nárůstu cen energií (9 % a více) by pasivní varianta rodinného domu stoprocentně kryla více náklady až do 20 % s výjimkou hypotečního úvěru na 20 let právě s 20% vícenáklady. V mnoha případech by růst cen energií zajišťoval úsporu převyšující splátky za vícenáklady a generoval by skutečnou finanční úsporu provozovateli nemovitosti již během splácení hypotéky a nesloužil by pouze k pokrytí vícenákladů za výstavbu pasivního domu. Je potřeba poukázat na skutečnost, že k této faktické úspoře provozu dochází i v některých variantách nižšího předpokládaného růstu cen, ale jen s ohledem na určité provedení stavby. Např. za podmínky 3% růstu cen energií, 10% vícenákladů a hypotékou na dobu 25 let by roční úspora dosahovala cca 3 500 Kč, resp. 90 000 Kč za celé období hypotečního úvěru, což odpovídá 2 % celkových nákladů, které by mohly být financovány z úspory provozu pasivního domu.

Tabulka 24 shrnuje úspory a navýšení hypoték z hlediska časového horizontu poskytnutých hypotečních úvěrů. Jedná se o varianty nejekonomičtějších vytápěcích systémů, viz tabulka 22. Porovnáním jednotlivých alternativ s vícenáklady ve stejném časovém horizontu zjistíme, zda při dané variantě dojde k pokrytí vícenákladů provozní úsporou, případně zda je tato úspora převyšuje.

Tabulka 24: Porovnání celkových úspor a navýšení hypoték (autor)

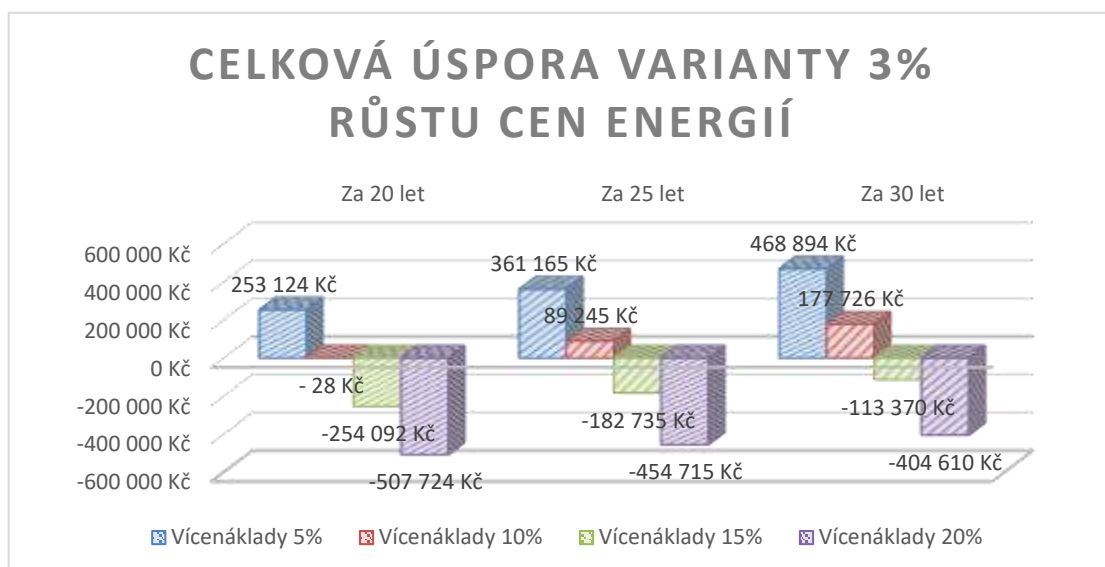
Průměrná roční úspora s ohledem na růst energií [Kč]				Celková navýšená hypotéka [Kč]			
Var.	Za 20 let	Za 25 let	Za 30 let	Provedení	Za 20 let	Za 25 let	Za 30 let
1	442 280 Kč	552 850 Kč	663 420 Kč	Vícenáklady 5%	253 536 Kč	272 160 Kč	291 096 Kč
2	506 660 Kč	633 325 Kč	759 990 Kč	Vícenáklady 10%	506 688 Kč	544 080 Kč	582 264 Kč
3	597 335 Kč	746 668 Kč	896 002 Kč	Vícenáklady 15%	760 752 Kč	816 060 Kč	873 360 Kč
4	929 848 Kč	1 162 310 Kč	1 394 772 Kč	Vícenáklady 20%	1 014 384 Kč	1 088 040 Kč	1 164 600 Kč

Podrobné shrnutí dosažitelných úspor s ohledem na možné vícenáklady a časové periody dle hypotečních úvěrů je uvedeno v následujících grafech (graf 16 - graf 19). V případě, že by během celého uvažovaného časového horizontu hypotečního úvěru nedocházelo k nárůstu cen za energie, jsou úspory provozu pasivního domu dostatečné k pokrytí vícenákladů až do 10 % navýšení, za předpokladu hypotečního úvěru alespoň na dobu 25 let. Pokud by byl tento interval zkrácen nebo by vícenáklady přesahovaly 10 %, pak by se z ekonomického hlediska zvýšená investice nevyplatila.



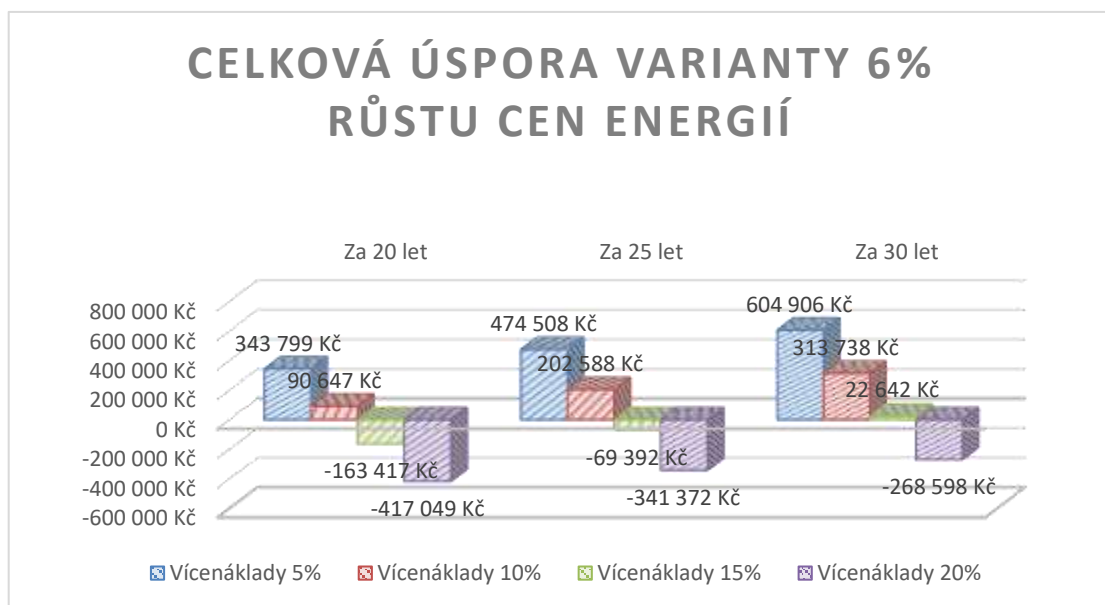
Graf 16: Celková úspora při realizaci var. 1 při jednotlivých variantách vícenákladů (autor)

Při uvažovaném konstantním růstu cen energií 3 % za rok dojde pouze k malému rozdílu. Za této podmínky se 10% navýšení vícenákladů zaplatí z provozních úspor i při financování po dobu 20 let, jak ukazuje graf 17.



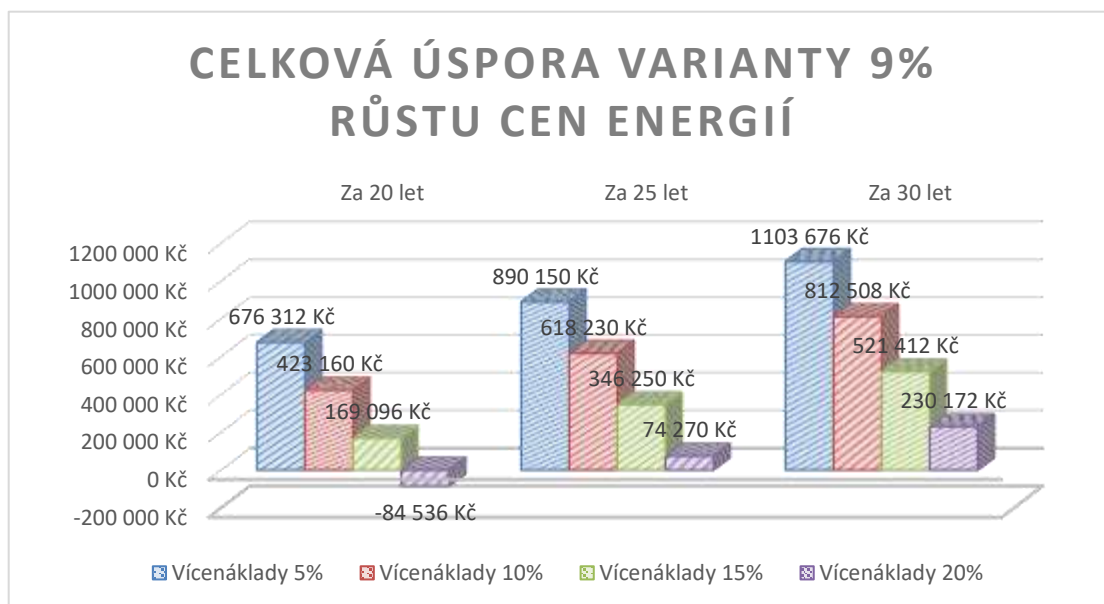
Graf 17: Celková úspora při realizaci var. 2 při jednotlivých variantách vícenákladů (autor)

Následující situace zvýšeného růstu cen poukazuje na dosažení vyšších úspor provozem pasivního domu a pokrytí vícenákladů i v úrovni 15 %, ale pouze po dobu financování na 30 let.



Graf 18: Celková úspora při realizaci var. 3 při jednotlivých variantách vícenákladů (autor)

Poslední uvažovaná varianta 9% růstu cen energií poukazuje na skutečnou úsporu pro všechny varianty vícenákladů i dob hypotečních úvěrů, vyjma nejnákladnější varianty v kombinaci s nejkratší dobou splácení úvěru. Při takto razantním navýšení nákladů by docházelo k úspoře provozu pasivního domu do té míry, že již během splácení hypotéky generoval úsporu provozem k pokrytí samotných nákladů výstavby a nikoli pouze vícenákladů. Je však potřeba poukázat na poměrně vysoký uvažovaný růst cen.



Graf 19: Celková úspora při realizaci var. 4 při jednotlivých variantách vícenákladů (autor)

Z uvedeného vyplývá, že při srovnání neekonomičtějších variant pro vytápění jak pasivního, tak i standardního rodinného domu lze dosažením pasivního standardu získat dostatečné úspory k pokrytí vícenákladů stavby. Jednotlivé kombinace míry navýšení nákladů stavby společně s časovým horizontem hypotečního úvěru pak poskytují přehled, zda v dané variantě bude dosaženo vyšší úspory nebo se během dané doby investice z úspor provozu nesplatí.

9 ZÁVĚR

Stavba rodinného domu splňujícího požadavek zhotovit stavbu pro účely bydlení není předmětem zájmu teprve posledních let. Domy byly potřebné a stavěly se již od nepaměti, šlo však spíše o splnění daného účelu. V posledních desetiletích se do popředí kromě účelovosti zohledňující využití domu dostává také otázka energetické náročnosti stavby. Postavit energeticky nenáročný rodinný dům, který by ve srovnání s běžnou výstavbou poskytoval uživatelům stejný nebo dokonce vyšší komfort bydlení, se tak stává důležitým požadavkem moderní doby. Tato práce je zaměřena na posouzení obecného investičního záměru takové výstavby a na porovnání ekonomických aspektů spojených s realizací výstavby pasivního domu.

V různých studiích se lze setkat s údaji, že cena výstavby pasivního domu je cca o 10 % vyšší než cena výstavby běžného standardu. Tato práce však v rámci širšího pojetí problematiky posuzuje vícenáklady na pasivní dům až do úrovně 20% navýšení oproti běžnému rodinnému domu. Tyto zvýšené náklady spojené s realizací vybraných konstrukčních řešení lze však chápat jako investici, která nejen prodražuje stavbu, ale zároveň zvyšuje hodnotu domu, stejně jako např. přístavba garáže apod. (6)

Snížení energetické závislosti objektu je do budoucna spjato s vyššími pořizovacími náklady v době realizace projektu, a proto je v každém případě vhodné, ne-li nutné obrátit se na odborníky např. s certifikací PHPP, která se přímo týká konstrukcí pasivních domů. Otázka ekonomické výhodnosti je do značné míry provázána s vývojem cen energií na trhu. V době rostoucích cen energií, případně při předpokládaném budoucím poklesu příjmů investora se na základě této provedené studie jeví jako správné rozhodnutí zvolit vyšší počáteční investici. Za předpokladu výhodnějšího a efektivnějšího získávání energií nebo při možném objevu nových levných technologií se tato investice může zdát snad zbytečná a neekonomická.

Jak bylo na základě provedených výpočtů zjištěno, pasivní dům může podle zvolených variant vést k pokrytí vícenákladů potřebných k dosažení pasivního standardu. Navíc může v některých případech již během zvažované životnosti generovat finanční úsporu v porovnání s běžným rodinným domem. Navíc zvýšené investiční náklady při realizaci stavby navyšují hodnotu domu. Na základě provedené studie lze interpretovat úsporu provozních nákladů, které bylo dosaženo snížením energetické náročnosti pasivního domu oproti běžné výstavbě, jako finanční částku, která může motivovat investora k pokrytí vícenákladů

spojených s dosažením pasivního standardu. V práci jsou zahrnuty pouze faktory, které lze obecně kvantifikovat, tedy výše vícenákladů a budoucích úspor. Výhody kvalitně provedené stavby s důrazem na pohodu vnitřního prostředí však nelze finančně vyčíslit.

Volba a aplikace jednotlivých konstrukčních řešení vždy závisí na lokálních podmínkách, členění stavby, preferencích obyvatel apod. Různé typy konstrukčního provedení se liší výší investičních nákladů. Pro zachování objektivního hodnocení jsou tak uvažovány různé varianty navýšení investičních nákladů, tedy vícenákladů v případě výstavby pasivního domu oproti standardní novostavbě rodinného domu. Celkové náklady realizace lze nejvíce ovlivnit ve fázi přípravy. Správný koncepční návrh domu vzhledem k prostředí a požadavkům zadavatele je základem pro minimalizaci vícenákladů pro dosažení pasivního standardu.

Provozem pasivního domu lze dosáhnout úspor i při poměrně malých proporcích domů. Obecně však lze také konstatovat, že s větší zastavěnou plochou lze pasivního standardu dosáhnout efektivněji než v případě staveb o menší rozloze. To platí za dodržení podmínky, kdy jsou redukovány na minimum členitější obvody typu výklenků, arkýřů apod., které představují větší množství ochlazovaných ploch.

Hlavní princip pasivního domu spočívá v úspoře potřeby energií, především na vytápění. V rozporu s tímto předpokladem však může být vlastní chování samotných uživatelů pasivního domu. Časté a nekontrolované větrání, které by v pasivním domě nemělo být zapotřebí, vpustí do domácnosti čerstvý, ale chladný vzduch. Ten se pak díky průvzdušnosti stavby a ventilačnímu systému šíří do celého interiéru stavby. Pro ohřátí takto přivedeného většího množství vzduchu bude zapotřebí více energie k ohřátí místností na nastavenou úroveň. Takovéto jednání provozované častěji a ve větším měřítku funguje vlastně proti systému rekuperace, která příchozí vzduch řízeně ohřívá prostřednictvím toho již ohřátého, který z domu odchází. Pro dosažení očekávaných úspor provozu pasivního domu je proto zapotřebí jistá funkční gramotnost jeho uživatelů.

Stejně jako obecně pro všechny typy investic, je i v tomto případě potřeba zvážit možný výnos, riziko a časový aspekt spjatý s investicí. V případě pasivních domů je nejen riziko (např. vysoká poruchovost), které by znamenalo především dodatečné finanční náklady, ale adekvátně i výnos, relativně malý. Pro detailní prozkoumání by však bylo zapotřebí identifikovat poruchovost systémů veškerých konstrukcí použitých ve stavbě, deklarovanou výrobcí. Na základě této analýzy by pak bylo nutno posoudit, zda zařazením daných konstrukcí pro dosažení pasivního standardu nedojde k markantnímu poklesu spolehlivosti celkového systému. Další důležitou proměnnou, která souvisí se spolehlivostí při stavbě rodinného domu,

je životnost technologií, které budou v domě využívány. U odchylek v délce životnosti týkající se např. izolační vrstvy u obvodových stěn pasivního domu je tento aspekt zanedbatelný a v obecné rovině ani není důvod pro existenci příliš velkých odchylek v životnosti těchto konstrukčních prvků. Naopak toto kritérium je však potřeba zvážit při výběru konkrétních systémů, především otopných a rekuperačních. Jedním ze závěrů této práce je tak návrh na zařazení detailnějšího studia nákladů spojených právě s deklarovanou životností jednotlivých systémů.

Dalším důležitým aspektem, na který lze v závěru poukázat, je možnost získání dotací, které lze v současnosti čerpat při dosažení pasivního standardu. V práci však tato možnost není zohledněna, a to především z důvodu dočasnosti těchto pobídek. Že se však může jednat o nemalou finanční motivaci pro investora, lze dokumentovat skutečností, že v roce 2017 je možno dosáhnout i na dotaci pohybující se až do hranice 500 000 Kč za dům splňující stejná kritéria jako pasivní dům.

Ceny energií budou s největší pravděpodobností i nadále kolísat. Pokud chceme snížit závislost na energetických společnostech a jejich cenách, včetně cen tuhých paliv, a z toho plynoucí riziko vyšší finanční náročnosti provozu domu, je snižování energetické náročnosti objektu dobrou volbou, jak efektivně a dlouhodobě toto riziko redukovat.

Základní pojmy využívané v práci:

Energetická bilance je rozdíl mezi dodanou energií (případně energetickými zisky) a ztrátami domu za určité časové období (měsíc, rok)

Měrná potřeba tepla na vytápění je významný ukazatel pro hodnocení pasivního domu. Množství spotřeby tepla, které potřebuje dům za jeden rok.

Tepelná ztráta představuje množství úniku tepla z vytápěného prostoru přes obvodové konstrukce a větráním a v zimních obdobích musí být opět dodáno k zajištění vnitřní stálé teploty.

Tepelné zisky představují teplo získané jinak než z otopné soustavy, tzn. slunečním zářením, tepelnými zisky z vnitřních elektrických spotřebičů a metabolického tepla uživatelů.

Součinitel prostupu tepla U vyjadřuje množství tepla, které projde konstrukcí o ploše jeden metr čtvereční při rozdílu venkovních a vnitřních teplot jeden stupeň Celsia.

Šedá energie je označení pro veškeré energie, které jsou spotřebované při výrobě určitého materiálu.

Rekuperace je zpětné získávání tepla z odváděného ohřátého odpadního vzduchu.

Zemní výměník tepla je systém podzemního potrubí, který slouží pro předeřtání vzduchu v zimě a ochlazení v létě, založená na principu tepelné stability v půdě.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- (1) *Ceny výstavby rodinného domu*. 2014. Praha: ÚRS Praha, 2007. Vím za kolik---. ISBN 978-80-7369-511-8.
- (2) What Uses the Most Electricity in a House? *Gas boilers* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://gasboilerguide.com/what-uses-the-most-electricity-in-a-house/>
- (3) *Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2013, číslo 78.
- (4) HŮLKA, Ctibor. *Encyklopedie vad nemovitostí 2. díl*. Praha: DEK, 2014. ISBN 978-80-87215-13-5.
- (5) ČSN 73 0540 2. In: . Praha: SAGIT, 2011, číslo 90408.
- (6) SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům - realita, či fikce?*. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-736-6052-0.
- (7) Passive House Design. *Hawkeye Builders* [online]. 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://hawkeyebuildersinc.com/passive-house.html>
- (8) POČINKOVÁ, Marcela a Danuše ČUPROVÁ. *Úsporný dům*. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-131-1.
- (9) VAVERKA, Jiří. *Stavební tepelná technika a energetika budov*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2910-0.
- (10) What is Passivhaus? *Passivhaus trust* [online]. 2016 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.passivhaustrust.org.uk/what_is_passivhaus.php
- (11) VYMĚTALÍK, Ing. Vladimír. Návrh obvodové stěny s vnějším tepelněizolačním kompozitním systémem. *TZB info* [online]. 2012 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/127-navrh-obvodove-steny-s-vnejsim-tepelneizolacnim-kompozitnim-systemem>
- (12) Bericht Passivhauszertifizierung. *FBS Over GmbH* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/de/document/view/10259188/bericht-passivhauszertifizierung-komplett-14-mb-fbs-over-gmbh>
- (13) Hliníková, plastová a dřevění okna a dveře. *Okna intos* [online]. Praha [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://okna-intos.cz/plastova-okna-a-dvere/>
- (14) *Centrum pasivního domu* [online]. Brno: Centrum pasivního domu, ©2006-2016 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/>
- (15) Co to je rekuperace? *Atrea* [online]. Jablonec nad Nisou, 2014 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>

- (16) *Alter-nativa.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://alter-nativa.cz/341-zisk-ze-zemniho-vyмену-tepla.html>
- (17) Měření teplot v zemině. *Národní dřevařský klastr* [online]. 2015 [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: <http://www.vyzkumneinovacnicentrum.cz/mereni-teplot-v-zemine/>
- (18) HOUŠKA, Petr. Když se řekne tepelný most.. *Časopis dřevo a stavby* [online]. 2013, 2013(3), 3 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/3935-kdyz-se-rekne-tepelny-most>
- (19) ČEJKA, Ing. Michal a Ing. Miroslav ŠAFAŘÍK, PH.D. Ekonomické porovnání provozu pasivního domu a běžné výstavby. In: *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/8238-ekonomicke-porovnani-provozu-pasivniho-domu-a-bezne-vystavby>
- (20) Kolik stojí kWh elektřiny, plynu a dalších energií? *Ceny energie* [online]. 2015 [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/kolik-stoji-kwh/#/promo-ele>
- (21) PONCAROVÁ, Jana. Cena kWh elektřiny 2016: Zjistěte, kolik a za co platíte. In: *Peníze.cz* [online]. 2016, s. 5 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/bydleni/308044-cena-kwh-elektriny-2016-zjistete-kolik-a-za-co-platite>
- (22) *Homebuilding and renovating* [online]. UK, 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <https://www.homebuilding.co.uk/types/advice/>
- (23) DANIEL, David. Passive Houses: 13 Reasons Why the Future Will Be Dominated by this New Pioneering Trend. *Freshome* [online]. 2013, 2013(2), 13 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://freshome.com/2013/12/02/passive-houses-10-reasons-future-will-dominated-new-pioneering-trend/>
- (24) Ekonomika pasivního domu - vyplatí se skutečně? *TZB info* [online]. 2006 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3689-ekonomika-pasivniho-domu-vyplati-se-skutecne>
- (25) FEIST, Dr. Wolfgang. Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg: Bau und Messung. In: *CEPHEUS* [online]. Hannover, 2001, s. 123 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/pdf/Passivhaussiedlung_Kronsberg_Kurzfassung_www.pdf
- (26) Projekt pasivního bungalovu. *Projekty domů* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.projektydomu.cz/projekty-domu/zdene-rodinne-domy/projekt-pasivniho-bungalovu-4-1-s-plochou-strechou.htm>
- (27) Pasivní a aktivní rekuperace. *NILAN - větrání s rekuperací* [online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.nilan.cz/poradna/pasivni-a-aktivni-rekuperace.htm>

- (28) Správná volba izolačního zasklení. *TZB info* [online]. 2011 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zaskleni/7771-spravna-volba-izolacniho-zaskleni>
- (29) International energy outlook 2016. *Energy information administration* [online]. 2016 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/electricity.cfm>
- (30) VLČEK, Milan. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 3. vyd. Brno: ERA, 2006. Technická knihovna (ERA). ISBN 80-736-6073-3.
- (31) Ceník Protherm. *Protherm* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/product-detail-page-325.cs_cz.html
- (32) Centrum vytápění [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://www.centrumvytapieni.cz/atmos-d-14-p---automaticky-kotel-na-pelety---kotlikova-dotace?utm_source=heureka&utm_medium=aktivita-zakaznika&utm_campaign=heureka
- (33) Dotace na výstavbu rodinných domů. *Jak na zelenou* [online]. 2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.jaknazelenou.cz/dotace-na-vystavbu-rodinnych-domu/>
- (34) Ethical, Inspiring & Green. *Eco design consultants* [online]. UK, 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.ecodesignconsultants.co.uk/>
- (35) VALACH, Josef. *Finanční řízení podniku*. Praha: Ekopress, 1997. ISBN 80-901-9916-X.
- (36) TNI 73 0331: *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. 2013.
- (37) KAH, Oliver a Wolfgang FEIST. *Wirtschaftlichkeit von WärmedämmMaßnahmen im Gebäudebestand 2005* [online]. In: . Darmstadt: Passivhaus Institut, 2005, s. 80 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: http://www.passiv.de/downloads/05_wirtschaftlichkeit_wdmgb2005.pdf
- (38) IVT Tepelná čerpadla [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-geo-312>
- (39) Přímotopy. *Primotopy.eu* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.primotopy.eu/>

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Energetická spotřeba domácnosti (2)
- Obrázek 2: ENB (3)
- Obrázek 3: Princip pasivního domu (7)
- Obrázek 4: Zjednodušené porovnání obvodových konstrukcí stavby (autor)
- Obrázek 5: Prostup tepla (autor)
- Obrázek 6: Termosnímek (10)
- Obrázek 7: Schéma energetické střechy (9, s. 521))
- Obrázek 8: Ilustrační zobrazení prostupu tepla a světla okny (28)
- Obrázek 9: Ideální rozložení prostupu tepla okny (12)
- Obrázek 10: Osazení okna (12)
- Obrázek 11: Dřevěný okenní rám z několika materiálů (13)
- Obrázek 12: Plastové okno (13)
- Obrázek 13: Porovnání rámců (14)
- Obrázek 14: Pasivní rekuperace (27)
- Obrázek 15: Aktivní rekuperace (27)
- Obrázek 16: Zemní výměník tepla (16)
- Obrázek 17: Průběh průměrné teploty vzduchu a teploty v zemině (17)
- Obrázek 18: Tepelný most (18)
- Obrázek 19: Předpoklad vývoje spotřeby energií (29)
- Obrázek 20: Technická provedení a změna nákladů (24)
- Obrázek 21: Snížení energetické spotřeby (24)
- Obrázek 22: Dodatečné náklady na dosažení pasivního standardu (24)
- Obrázek 23: Rozhodovací schéma při volbě novostavby (autor)
- Obrázek 24: Model pasivního domu (26)

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Rozdělení tříd budov (5)
- Tabulka 2: Spotřeba tepla na vytápění (6, s. 6))
- Tabulka 3: Orientační hodnoty součinitele prostupu tepla dle konstrukce a izolace (11)
- Tabulka 4: Řešení detailů (4)
- Tabulka 5: Orientační srovnání cen obvodových stěn a druhů zateplení (autor)
- Tabulka 6: Orientační srovnání cen za podlahy a střešní konstrukce (autor)
- Tabulka 7: Orientační srovnání cen oken (autor)
- Tabulka 8: Požadované hodnoty součinitele spárové průvzdušnosti (9, s. 315))

Tabulka 9: Spotřeba vody (autor)
 Tabulka 10: Spotřeba vody II. (autor)
 Tabulka 11: Výpočtové hodnoty (autor)
 Tabulka 12: Druhy vytápění a přípravy teplé vody (autor)
 Tabulka 13: Cena zemního plynu a pelet (20)
 Tabulka 14: Celková cena elektrické energie (21)
 Tabulka 15: Investiční a provozní náklady jednotlivých systémů Standardní dům (autor)
 Tabulka 16: Investiční a provozní náklady jednotlivých systémů Pasivní dům (autor)
 Tabulka 17: Porovnání provozních nákladů obou variant (autor)
 Tabulka 18: Pasivní dům celkové náklady (autor)
 Tabulka 19: Standardní dům celkové náklady (autor)
 Tabulka 20: Porovnání nejvýhodnějších systémů (autor)
 Tabulka 21: Srovnání splátek hypotéky na plnou cenu stavby (autor)
 Tabulka 22: Srovnání ekonomicky nejvýhodnějších otopných systémů (autor)
 Tabulka 23: Srovnání provozní úspory s navýšením roční hypoteční splátky (autor)
 Tabulka 24: Porovnání celkových úspor a navýšení hypoték (autor)

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání šedé a kumulativní provozní energie (8)
 Graf 2: Ekonomická bilance domu (6, s. 8))
 Graf 3: Roční provozní náklady Pasivní dům (autor)
 Graf 4: Dlouhodobé porovnání celkových a provozních nákladů Pasivní dům (autor)
 Graf 5: Dlouhodobé rozdělené porovnání celkových nákladů Pasivní dům (autor)
 Graf 6: Jednotný přechod na tarif D02d (autor)
 Graf 7: Nárůst provozních nákladů při jednotném tarifu (autor)
 Graf 8: Roční provozní náklady Standardní dům (autor)
 Graf 9: Srovnání celkových nákladů Standardní dům (autor)
 Graf 10: Zastoupení nákladů Standardní dům (autor)
 Graf 11: Roční náklady při změně na tarif D02d Standardní dům (autor)
 Graf 12: Nárůst provozních nákladů při jednotném tarifu Standardní dům (autor)
 Graf 13: Porovnání ročních provozních nákladů standardního a pasivního domu (autor)
 Graf 14: Dosažená roční úspora u pasivního domu (autor)
 Graf 15: Porovnání nákladů na vytápění Pasivního a Standardního domu v 20 letém časovém horizontu (autor)

Graf 16: Celková úspora při realizaci var. 1 při jednotlivých variantách vícenákladů
(autor)

Graf 17: Celková úspora při realizaci var. 2 při jednotlivých variantách vícenákladů
(autor)

Graf 18: Celková úspora při realizaci var. 3 při jednotlivých variantách vícenákladů
(autor)

Graf 19: Celková úspora při realizaci var. 4 při jednotlivých variantách vícenákladů
(autor)